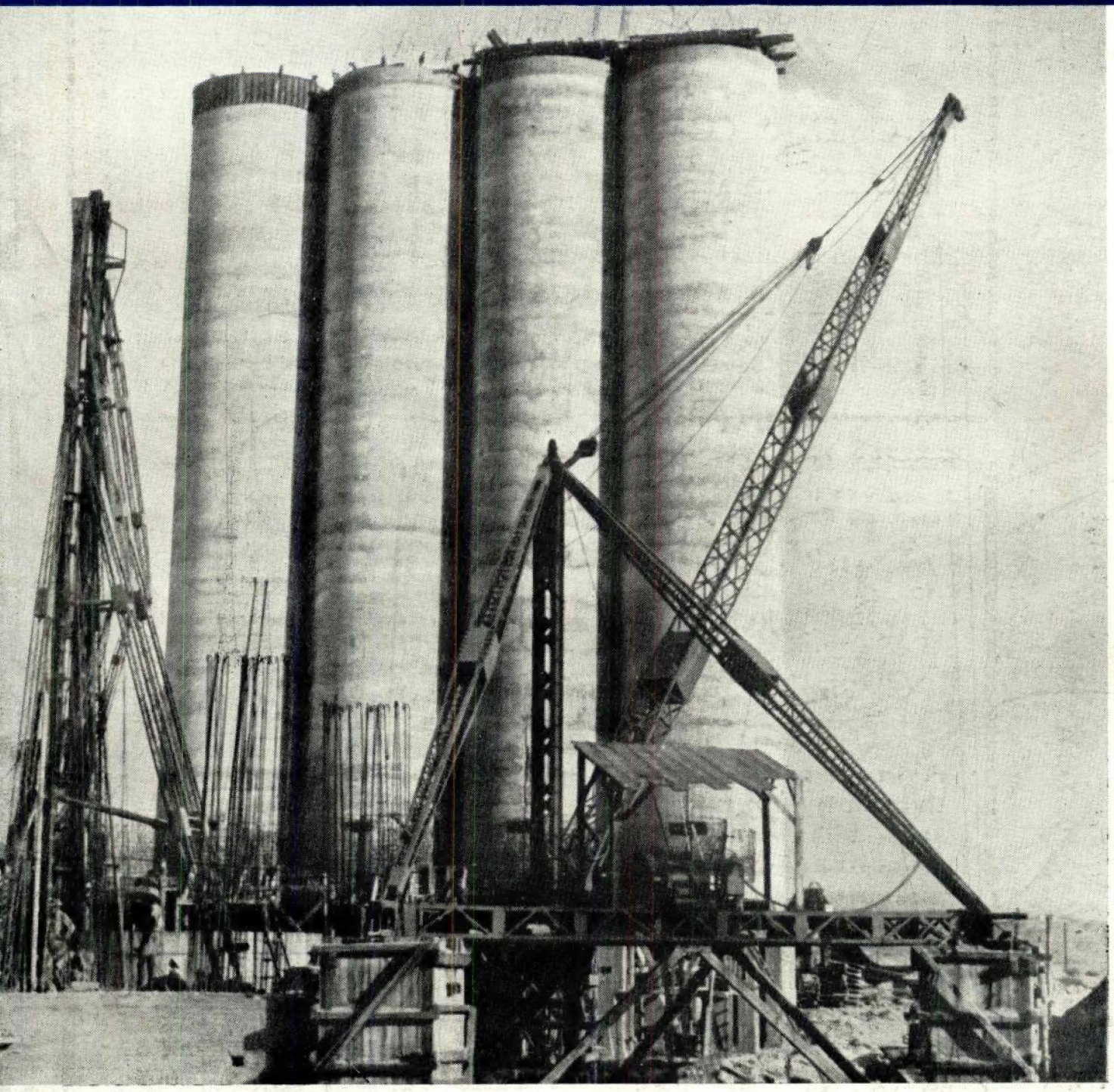
TÉCNICA



REVISTA DE ENGENHARIA
DOS ALUNOS DO I. S. T.

N.º 239 - FEVEREIRO - 1954

CIMENTO SECIL

O CIMENTO COM AS MAIORES RESISTÊNCIAS

Fábrica no Outão — Setúbal

Lisboa — Rua do Comércio, 56-3.º

Desde o Distrito de **VIANA DO CASTELO** ao de **LEIRIA** e nos Distritos de **SETÚBAL** e **ÉVORA** as

FÁBRICAS
CIDADES
VILAS e
ALDEIAS portuguesas

são abastecidas de

ELECTRICIDADE

para

FORÇA MOTRIZ E TODOS OS USOS INDUSTRIAIS, LUZ, ETC., a TARIFAS MUITO VANTAJOSAS e com as **maiores facilidades**,

pela

UNIÃO ELÉCTRICA PORTUGUESA

e produzidas nas CENTRAIS:

Thérmica do FREIXO .... 22.000 CV
Hidráulica do LINDOSO.. ..... 100.000 CV
Thérmica da CACHOFARRA... 14.000 CV

Os Escritórios da UNIÃO ELÉCTRICA PORTUGUESA são:

NO PORTO Rua Duque de Loulé, 240
EM LISBOA R. António Maria Cardoso, 13, 2.º

CIMENTO TEJO

FÁBRICA EM ALHANDRA

A instalação mais moderna do País. Dois fornos rotativos em laboração. — O "CIMENTO TEJO" marca pelas suas altas resistências e regularidade, garantidas pela fiscalização contínua de todas as fases do fabrico, exercida por técnicos portugueses especializados.

Pedidos à Companhia **"CIMENTO TEJO"**

SEDE EM LISBOA
RUA DA VITÓRIA, 88, 2.º

FILIAL NO NORTE
AV. DOS ALIADOS, 20, 3.º
PORTO

TÉCNICA

REVISTA DE ENGENHARIA DOS ALUNOS DO INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

Ano XXIX - N.º 239 Fevereiro de 1954

Redacção e Administração: AVENIDA ROVISCO PAIS, I.S.T. * LISBOA-N. * TELEF. 70144 (Linha 50)

DIRECTOR
JOSÉ MANUEL DA CRUZ MORAIS

ADMINISTRADOR
FERNANDO MARQUES DE OLIVEIRA

SECRETARIO
VIRGÍLIO DOS REIS CARDOSO IGREJA

CORPO REDACTORIAL
ANTÓNIO SEVERINO PINTO
CARLOS M. NOGUEIRA MARTINS
JOSÉ M. FREITAS CRUZ
JOÃO PEDRO ANTUNES GOMES
LUIZ F. LUCENA FERREIRA

NUMERO AVULSO 12$50

ASSINATURAS:

	3 N.os	5 N.os	10 N.os
Continente e Ilhas	32$50	50$00	95$00
Colónias Portuguesas e Estrangeiro	—	55$00	100$00

EDITOR E PROPRIETÁRIO
ASS. DOS ESTUD. DO I.S.T.

COMPOSTO E IMPRESSO
NA
Tip. JORGE FERNANDES, L.DA
RUA CRUZ DOS POIAIS, 103
LISBOA

SUMÁRIO

CAPA — Silo de betão armado, para 20.000 toneladas de milho, em construção no porto do Lobito. Projecto e execução de Construções Técnicas, Ltd.ª, com moldes deslizantes sistema «Prometo».

Págs

Quelques aspects potentiels de l'Industrie portugaise vus par une etranger
Par Dr. Pierre Alfred Laurent 249

A utilização dos ultrasons para o estudo das propriedades dos materiais
Por J. Ferry Borges 257

Extensómetros eléctricos de resistência
Pelo Eng.º Civil J. F. Lobo Fialho 275

Um «ligador de sincronismo» electrónico
Pelo Eng.º Electrot. (U. P.) Carlos Alberto F. Frazão 295

Notas informativas — **Elementos sobre a produção e consumo de energia na rede eléctrica nacional** 311

Do Mundo Técnico 312

Biblioteca 314

OS ARTIGOS PUBLICADOS NESTA REVISTA SÃO DE EXCLUSIVA RESPONSABILIDADE DOS AUTORES

FUNDAÇÕES FRANKI

MERCADO BOM SUCESSO PORTO

75 estacas ø 305 mm.
251 estacas ø 406 mm.
Comprimento total — 2900 m.
Executadas de Abril a Julho de 1951

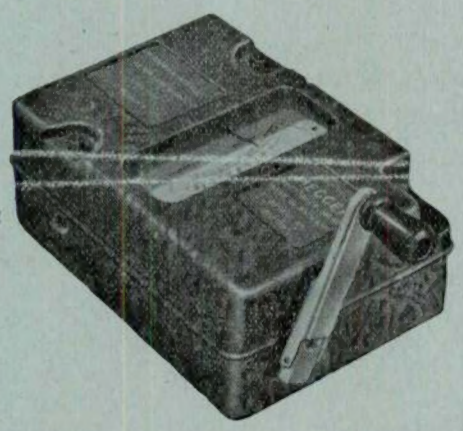
SOCIEDADE
CONSTRUTORA
PORTUGUESA, L.DA
P. DO AREEIRO, 9, 4.º-E.
TELEF. 7 6061 - LISBOA

EVERSHED & VIGNOLES, LTD.

APARELHOS ELÉCTRICOS DE ALTA CATEGORIA

"MEGGER"

ENSAIADORES DE ISOLAMENTO E CONTINUIDADE
ENSAIADORES DE CIRCUITOS. ENSAIADORES DE TERRAS
INSTRUMENTOS DE MEDIDA PORTÁTEIS E DE LABORATÓRIO
INSTRUMENTOS PARA QUADRO, INDICADORES E REGISTADORES
INSTALAÇÕES DE TELE-TRANSMISSÃO E TELE-COMANDO
TAQUÍMETROS ESTACIONÁRIOS. SALINÓMETROS ELÉCTRICOS

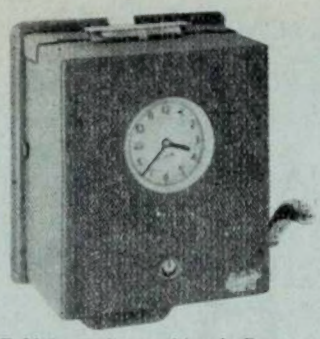


APARELHAGEM PARA CENTRAIS ELÉCTRICAS
ESTAÇÕES DE BOMBAGEM
FUNDIÇÕES DE AÇO
TRACÇÃO ELÉCTRICA
DOCAS E NAVIOS
ESTAÇÕES DE DISTRIBUIÇÃO
ETC., ETC.

Pedir catálogos e ofertas aos Representantes e Depositários:

PIMENTEL & CASQUILHO, L.DA

RUA EUGÉNIO SANTOS, 75 LISBOA Telef. 24314



Relógio semi-automático de Ponto

PENSE em Ericsson

...para controlar melhor o tempo de seus empregados

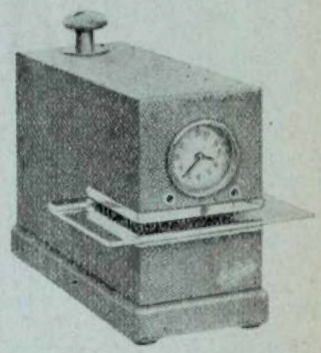
Os relógios de ponto Ericsson proporcionam :

Maior exactidão no controle de pontualidade e frequência.

Maior facilidade na preparação das folhas de pagamento.

Maior garantia para empregados e dirigentes na verificação da assiduidade.

Maior economia de tempo e pessoal no controle do ponto : amortização mais rápida do custo de sua aquisição.



Relógio de tarefa para controlar com exactidão os custos de «mão de obra»

Relógio automático de Ponto

Peça a visita de um técnico da Ericsson.

Sem o menor compromisso, pode obter todas as informações e detalhes sobre os Relógios de Ponto ou sobre quaisquer outros produtos Ericsson.

◆

Outros produtos Ericsson :

- Sistemas telefónicos de todos os tipos
- Sistemas de telesinalização
- Sistemas de radiocomunicações e sonorização
- Diversa aparelhagem telefónica e eléctrica

SOCIEDADE ERICSSON DE PORTUGAL, L.DA

RUA FILIPE FOLQUE, 7, 1.º

LISBOA

Telefone (P P C - 2 linhas) — 57193 • Telegramas: ERICSSON

Material para terraplenagens

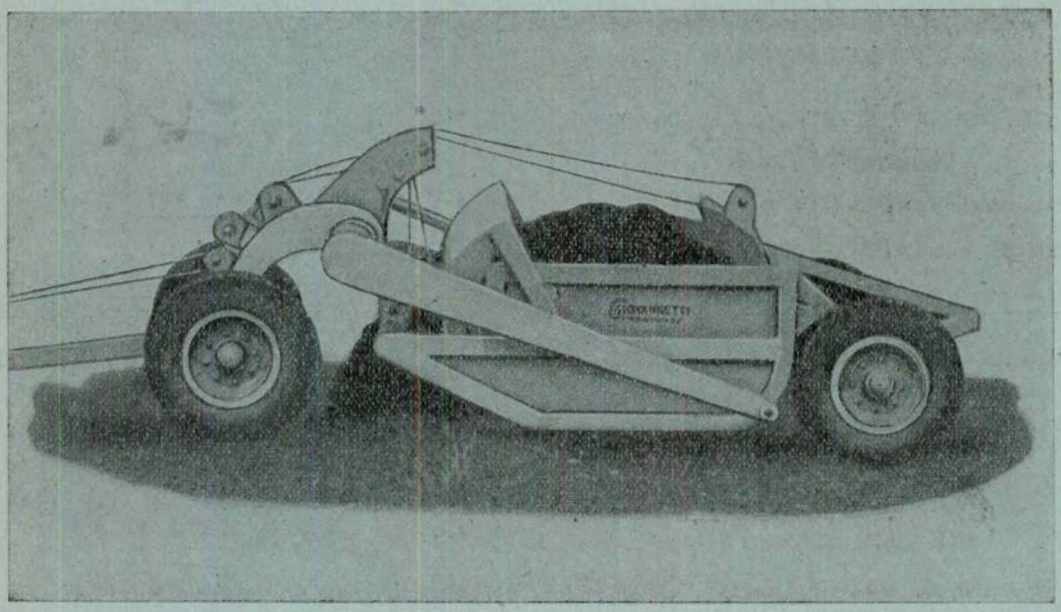
SCRAPERS

BULLDOZERS

RIPPERS

CILINDROS PÉS-DE-CARNEIRO

ETC.



EQUIPES PARA TRACTORES DE 50-70 E 140 HP

ENTREGAS RÁPIDAS

CONSULTE:

MONTEIRO GOMES, LIMITADA

Rua Cascais, 47 — LISBOA

Telef. 37083

PORTO — LUANDA

Companhia União Fabril

Sede: Rua do Comercio, 49

LISBOA

O MAIOR AGRUPAMENTO INDUSTRIAL DA PENINSULA IBÉRICA

Fábricas em:
Alferrarede, Barreiro, Canas de Senhorim, Lisboa, Mirandela, Óbidos, Porto, Soure e Vila Nova de Gaia.

Superfosfatos, Sulfatos de Cobre, Enxofre, Sabões, Acidos, Oleos industriais e alimentares, Azeites, Torteame, Sacarias, Grossarias, Fios, Carpetes e Mangueiras.

Oficinas de:
Construções metalicas, Mecânica geral de Automoveis e Engrenagens

Fundição de:
AÇO, FERRO E OUTROS METAIS

Construção Naval

(Arrendataria do estaleiro naval da A. G. P. L.)

Metalurgia de Ouro e Prata — Refinação electrolitica

DUPLICADORES

Manuais e eléctricos.

Gestetner

OS MELHORES DO MUNDO

A GESTETNER, L.DA

RUA DA CONCEIÇÃO, 125 Telefone 2 2628 - LISBOA | LARGO DO PADRÃO, 20 1.º Telefone 2 3469 - PORTO

A. J. GONÇALVES DE MORAES, L.DA

ESTABELECIDOS DESDE 1894

PORTO
R. Nova da Alfândega, 18
Tel. 27327 (6 linhas)

LISBOA
R. de S. Paulo 26 - 1.º
Tel. 34943 (5 linhas)

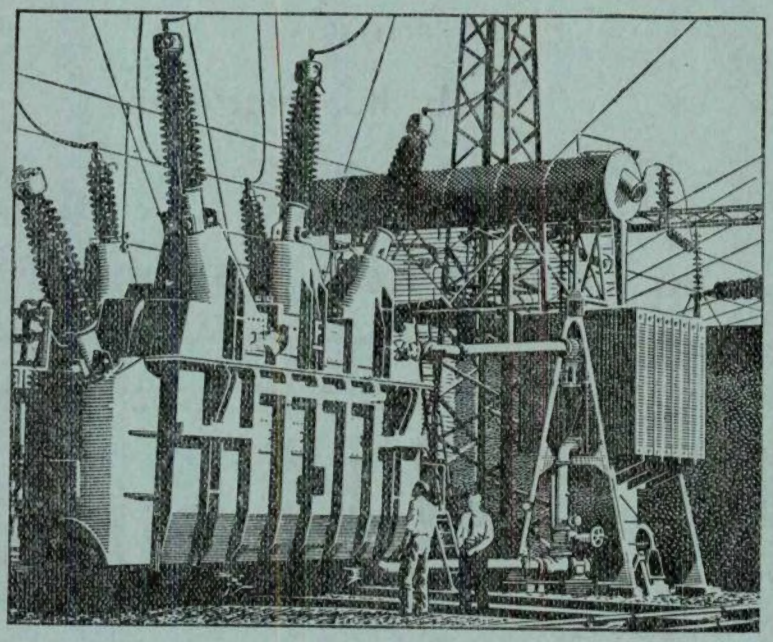
TRANSITÁRIOS DAS GRANDES EMPRESAS DO PAÍS

Tiveram a honra de transportar materiais e equipamentos para, entre outras, as seguintes Empresas:

HIDRO-ELÉCTRICA DO CÁVADO
HIDRO-ELÉCTRICA DO ZÊZERE
SACOR
SONAP
CUF
SOREFAME
COMPANHIA PORTUGUESA DE CELULOSE,
ETC., ETC.

TRANSFORMADORES FERRANTI

A MARCA QUE SE IMPÕE PELA ROBUSTÊS, PRECISÃO E SEGURANÇA DO SEU MATERIAL



Transformador de 64.000 KVA

•

Agentes Gerais para Portugal e Ultramar:

C. SANTOS LDA.

DIVISÃO MARÍTIMA E TÉCNICA

17, TRAVESSA DA GLÓRIA, 19-A

LISBOA

Sociedade Metropolitana e Colonial de Construções, L.da

SOMEC

R. da Madalena, 163 — Lisboa Telefone 32795/6

Sondagens
Fundações
Betão armado
Trabalhos marítimos
Túneis

no Continente e Ultramar

CONSTRUÇÕES TÉCNICAS, L.DA

Praça do Município, 13-3.º — LISBOA

Telefone 2 2344

C.A "CIMENTO TEJO" — PONTE CAIS EM ALHANDRA

FUNDAÇÕES

BETÃO ARMADO

OBRAS PÚBLICAS

EIS 4 PONTOS QUE TORNAM A

SCHIELD BANTAM DE 3/8

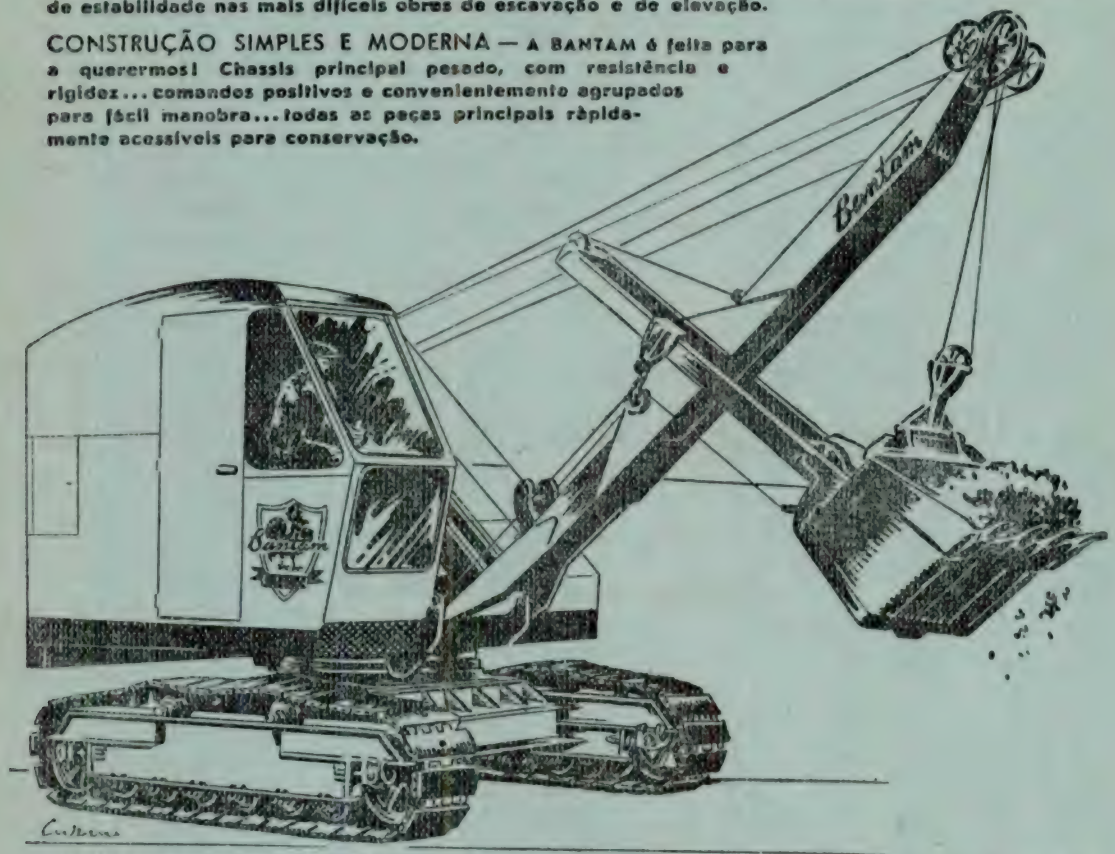
NA MÁQUINA MAIS DISPUTADA

MARCHA INDEPENDENTE — Uma caracteristica "standard" da SCHIELD BANTAM que permite ao operador mover o equipamento frontal durante a marcha... ideal para escavação... enchimento de valas... manuseamento de materiais.

BARATA... GRANDE ESCALA DE TRABALHOS — A escavadora de mais baixo custo na indústria que vos dá ao mesmo tempo uma execução que não foi ainda atingida no seu campo por qualquer outra máquina. Nove acessórios de fácil montagem equipam a BANTAM para executar centenas de obras com maior rapidez e por menor custo.

BASE DE LAGARTAS DEVIDAMENTE EQUILIBRADA — Comprida e larga - quase quadrada - tem ainda um baixo centro de gravidade e uma folga sobre o chão adequada, permitindo-lhe o máximo de estabilidade nas mais difíceis obras de escavação e de elevação.

CONSTRUÇÃO SIMPLES E MODERNA — A BANTAM é feita para a querermos! Chassis principal pesado, com resistência e rigidez... comandos positivos e convenientemente agrupados para fácil manobra... todas as peças principais ràpidamente acessíveis para conservação.



GUINDASTE • VALADORA • PÁ DE ARRASTO • COLHER DE MANDÍBULAS
ESCAVADORA • MAGNETO • BATE ESTACAS • ENCHEDOR DE VALAS

DISTRIBUIDORES EXCLUSIVOS PARA PORTUGAL E ULTRAMAR

BLACKWOOD HODGE

Av. Almirante Reis, 247-C — Telef. 75984

LUANDA — LISBOA — L. MARQUES

COMPANHIAS ASSOCIADAS FILIAIS OFICINAS E AGÊNCIAS EM TODO O MUNDO

AZEVEDO & PESSI, L.DA

RUA NOVA DO ALMADA, 46

LISBOA — PORTUGAL

TELEGRAMAS: PESSIL-LISBOA — TELEFONES: 29879-24495-20354

AZEVEDO & PESSI, L.DA

OFERECEM **EQUIPAMENTO PARA INSTALAÇÕES INDUSTRIAIS E APARELHAGEM ELÉCTRICA DAS SUAS REPRESENTADAS**

Emile Haefely & Cie., S. A. — Basileia	**Transformadores, Condensadores**
Sprecher & Schuh, S. A. — Aarau	**Aparelhagem eléctrica**
Baume & Marpent, S. A. — Haine-St-Pierre	**Material rolante, Gasómetros**
Heinrich Flottmann, G. m. b. H. — Herne	**Martelos pneumáticos, Compressores**
Salzgitter Maschinen A.-G. — Salzgitter	**Pás mecânicas, Rastilhos perfuradores**
Badische Maschinenfabrik A.-G. — Karlsruhe	**Equipamento para fundições**
Berkefeld Filter Ges. m. b. H. — Celle	**Filtros, Instalações de correcção**
Luke & Spencer, Ltd. — Altrincham	**Amoladoras, Mós**
Eschwerke K.-G. — Duisburgo	**Britadeiras, Trituradoras**
Knapsack-Griesheim A.-G. — Frankfort	**Equipamento de soldadura**
F. Kueppersbusch & Soehne A.-G. — Gelsenkirchen	**Cozinhas, Fogões**
Mench S. A. — Bruxelas	**Equipamento para lavandarias**
Bergedorfer Eisenwerk A.-G. — Hamburgo	**Instalações frigoríficas, Centrais leiteiras**
Seitzwerke A.-G. — Kreuznach	**Máquinas para engarrafamento**
Intexico — Hamburgo	**Metais, Máquinas-ferramentas**
Anton Kaeser — Hamburgo	**Instalações de condicionamento de ar**

FÁBRICA DE PORCELANA DA VISTA ALEGRE, L.DA

Fundada em 1824

POR

José Ferreira Pinto Basto

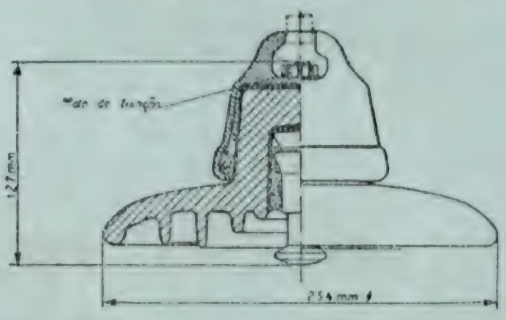
ISOLADORES DE CADEIA

Para suspensão

Tipo ACS 25

Este isolador é igual ao tipo I. B. S. 99 da firma inglesa Taylor Tunnicliff & Co., Ltd., por acordo com a qual o fabricamos

Peso aproximado: 4,5 kg cada elemento



Materiais

Porcelana vidrada em castanho.
Campânulas de ferro fundido maleável, galvanizadas por imersão a quente.
Hastes de aço macio galvanizadas por imersão a quente.
Molas de fixação de bronze fosforoso.

Lisboa — Sede: Largo Barão de Quintela, 3
Depósitos: Lisboa — Largo do Chiado, 18

Fábrica em Ílhavo — Aveiro
Rua Cândido Reis, 118 — Porto

LEACOCK (LISBOA), L.DA

AV. 24 DE JULHO, 16 — LISBOA

R. JOSÉ FALCÃO, 185 — PORTO

SECÇÃO DE MÁQUINAS E ELECTRICIDADE

REPRESENTANTES DE:

THE RAWLPLUG COMPANY, LTD.
Material de fixação para construção civil e mecânica.

HOOVER, LTD.
Motores eléctricos desde 1/8 até 3/4 H. P., Monofásicos e Trifásicos.

VERITYS, LTD.
Motores eléctricos desde 1 até 125 H. P

J. A. CRABTREE & CO. LTD.
Material para instalações de luz: interruptores, fichas, tomadas, etc.
Material para instalações de força: arrancadores, disjuntores, caixas, etc.

TRANSFORMERS & WELDERS, LTD.
Transformadores de todos os tipos até à potência de 3000 K. V. A. e até à tensão de 33000 Volts.

BARTON CONDUITS, LTD.
Tubo de aço para instalações eléctricàs.

EDWARD MAC BEAN & CO. LTD.
Tubo, fita e pano de tela envernizada.

MEASURING INSTRUMENTS (PULLIN), LTD.
Amperímetros, Voltímetros, Frequencímetros, Wattímetros de todos os tipos e escalas.

F. PERKINS, LTD.
Motores Diesel marítimos.

THE AUTOMATIC COIL WINDER AND ELECTRICAL EQUIPMENT CO, LTD.
Osciladores, capacímetros, texts universais, texts electrónicos, analisadores de válvulas, luxímetros, expositores para fotografias.
Máquinas para bobinar e enfitar.

GEORGE KENT
Contadores de água, de vapor e de óleo.
Tubos Venturi
Determinadores e controladores do pH, do CO_2 e pirómetros pelo processo potenciométrico.
Combustiómetros, manómetros, registadores de distâncias, medidores-registadores de caudais, medidores de orifícios em condutas para gases.

THORN ELECTRICAL INDUSTRIES, LTD.
Luz fluorescente e rádios.

ELECTRIC PANELS, LTD.
Aquecimento eléctrico.

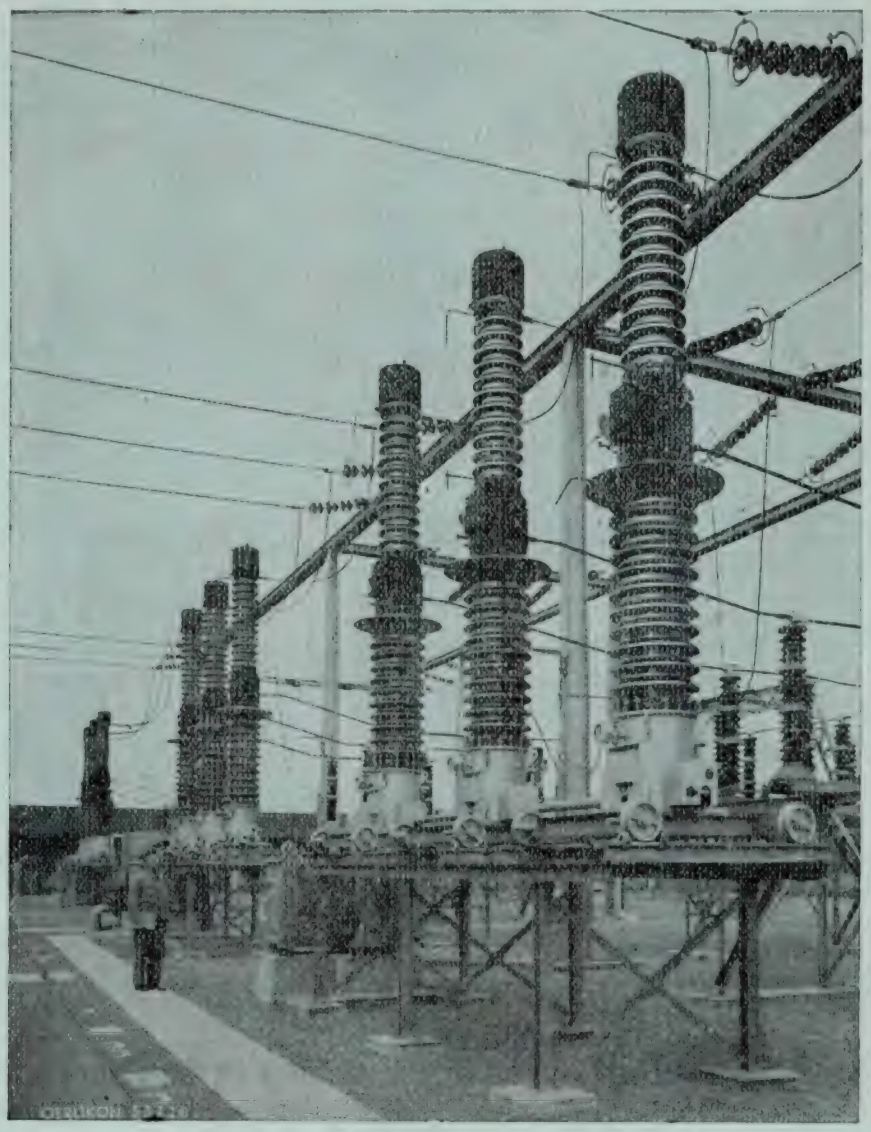
OERLIKON

Máquinas e aparelhos eléctricos de todo o género

Representante Geral para Portugal e Colónias

P. BELLASI

Porto // Rua Sá da Bandeira, 494, 3.° // Telefone 21968



Subestação Oerlikon do Serviço de Electricidade da cidade de Zurich (Suíça).
Três dos cinco disjuntores a pequeno volume de óleo, tipo TOF,
tensão de serviço 150 kV, poder de corte 3500 MVA.

PRODUTOS OERLIKON

Equipamentos eléctricos completos para centrais termo e hidroeléctricas, subestações e instalações de distribuição. Accionamentos eléctricos especiais para todas as indústrias. Geradores, motores, transformadores, reguladores de indução, comutadores, rectificadores de vapor de mercúrio, equipamentos para soldadura eléctrica por arco. Electrolizadores para a produção de hidrogénio e oxigénio. Aparelhos de manobra e protecção para alta e baixa tensão, reguladores automáticos de tensão, relés, pára-raios. Turbinas de vapor e turbo-geradores, ponte-gruas, compressores. Equipamentos eléctricos para locomotivas, automotoras, veículos diesel-eléctricos, locomotivas de acumuladores, tranvias, troleibus, funiculares e teleféricos, etc.

ATELIERS DE CONSTRUCTION OERLIKON

ZURICH-OERLIKON (SUIÇA)

TÉCNICA

DIRECTOR — JOSÉ M. CRUZ MORAIS ADMINISTRADOR — FERNANDO MARQUES DE OLIVEIRA
SECRETÁRIO: VIRGÍLIO DOS REIS CARDOSO IGREJA
CORPO REDACTORIAL — ANTÓNIO SEVERINO PINTO, CARLOS M. NOGUEIRA MARTINS, JOÃO PEDRO ANTUNES GOMES, JOSÉ M. FREITAS CRUZ E LUIZ F. LUCENA FERREIRA

Ano XXIX - N.º 239 Fevereiro de 1954

C. D. 338 : 66 (469)

Quelques Aspects Potentiels de l'Industrie Portugaise vus par um Etranger

PAR DR. PIERRE ALFRED LAURENT
Prof. do I. S. T.

Conférence faite à l'I. S. T. le 18 Janvier 1954 sur l'invitation de la Direction de la Revue «Técnica»

MONSIEUR LE REPRÉSENTANT DE L'AMBASSADEUR DE FRANCE,
MESDAMES, MESSIEURS,
MES CHERS AMIS ET ETUDIANTS,

Lorsque le Directeur de la «Revista Técnica» m'a demandé de faire une conférence, j'ai été très embarrassé pour le choix du sujet. Un sujet de science pure était d'un intérêt limité, et une conférence sur une industrie particulière risquait d'intéresser seulement un petit nombre de personnes. C'est ainsi que j'ai été amené à choisir un sujet plus général, ce qui a conduit au titre que vous connaissez.

Il peut paraître presque impertinent, après un séjour d'un an seulement dans ce beau pays, que je prétende parler de l'industrie portugaise, et je suis parfaitement conscient de cet aspect présomptueux de mon propos. Mais ce défaut a un avantage: je ne suis encore influencé par aucun préjugé, et en particulier j'ignore totalement toutes les rivalités et les tensions qui existent entre les différents groupements commerciaux. Cela me permet également de donner à cet exposé un caractère non définitif.

Tout ce qui va suivre ne sera peut-être pas toujours très agréable à entendre, et je serais absolument navré si quelque esprit chagrin ou mal disposé voulait y voir des critiques ou des conseils. Bien au contraire, tout ce que je vous dirai sera inspiré par le désir sincère de servir le pays qui a fait l'honneur à la France de solliciter la collaboration d'un Français qui, conscient de ses responsabilités, s'est efforcé, pour la circonstance, de «penser portugais».

Je passerai délibérément sous silence les industries de base existantes prévues par le plan de Fomento. Je ne parlerai pas non plus du liège ni des industries du poisson. Seule l'industrie des résineux fera l'objet de quelques considérations.

Les sources d'information de cette conférence sont, pour les données numériques, la statistique nationale de 1951-1952. Pour ce qui est de l'aspect plus général de la documentation, j'ai pu m'inspirer, avec beaucoup de profit pour mon édification personnelle, des conférences qui ont été faites par mes collègues sur des sujets parallèles, en particulier par l'Ingénieur João Carlos Adrião de Sequeira, l'Ingénieur António Herculano de Carvalho et l'Ingénieur Luís de Almeida Alves.

J'y ajouterai la remarquable série d'articles sur le Portugal parus récement dans le «Journal de Genève», et surtout l'important ouvrage «Linha de Rumo» de notre collègue l'Ingénieur J. N. Ferreira Dias Júnior.

Quand on examine la balance économique portugaise on est frappé, à première vue, par la grande exportation de produits bruts et la grande importation de produits manufacturés. A cette échelle, on pourrait conclure que l'industrie de transformation portugaise est relativement peu développée.

Cependant, les matières premières sont là, et le sol et le sous-sol portugais sont des sources de nombreux produits dont l'industrie, existante ou potentielle, doit tirer parti.

Vous me permettrez ici de préciser la notion de potentiel, qui implique une différence de niveau d'énergie. Ainsi, un potentiel commercial se traduira par une différence de prix pour un même objet; un potentiel hydraulique, par une différence de niveau entre deux nappes d'eau; et le potentiel chimique (au sens trivial du mot et non pas au sens thermodynamique) par la possibilité de transformer des matières premières en produits utilisables. Ces transformations chimiques impliquent donc une amélioration des possibilités d'utilisation et il semble indiqué d'employer pour définir celle-ci l'expression allemande tout-à-fait appropriée de «Veredlung».

Somme toute, les matières premières représentent des potentiels chimiques en ce sens que l'industrie peut élaborer ces matières premières pour en tirer des produits plus utiles. Exemple: le bois peut servir aussi bien pour le chauffage que pour la fabrication de la rayonne.

Aux Etats-Unis on s'est beaucoup préoccupé de ces problèmes, tant dans l'industrie privée que dans les laboratoires du Gouvernement. Ainsi, il existe dans ce pays de grands laboratoires d'Etat, et je ne voudrais citer ici que les quatre «Regional Research Laboratories» du Ministère de l'Agriculture, situés au voisinage de Philadelphie, Peoria, San Francisco et La Nouvelle Orléans, que j'ai eu la chance de visiter tous les quatre.

De ces laboratoires, en particulier, sont sortis de nombreux travaux en vue de l'utilisation des matières premières à proprement parler, ainsi que de la valorisation des déchets ou des surplus. La liste de leurs publications est longue; je n'en retiendrai qu'un petit nombre, qui concernent:

— l'utilisation des gousses de maïs ou des écorces de seigle ou des grignons d'olive, qui a donné naissance à la puissante industrie du furfural et de son cortège de dérivés;
— celle des topinambours, dont a extrait de l'amidon et des pulpes alimentaires;
— celle des feuilles de betterave, (chlorophylle et tocoferols);
— celle des surplus de tabac, (extraits nicotiniques);
— celle des graisses non comestibles, (acides gras);
— etc....

Ces recherches, parfois stériles du point de vue industriel immédiat, ont eu souvent des applications entraînant un enrichessement du pays et une indépendance économique plus grande, mais le résultat essentiel était certainement l'utilisation de produits primaires nationaux.

Si nous étendons les considérations agricoles ci-dessus au domaine minéral, nous voyons comment un grand pays, qui est riche, multiplie ses efforts pour utiliser ses ressources naturelles.

I

Comment peut-on extrapoler les possibilités ébauchées ci-dessus au Portugal? Un certain nombre apparaissent comme immédiates. D'autres restent à trouver.

J'ai extrait de la statistique 1951-52 quelques postes d'importation et les ai rapprochés des matières premières nationales utilisables:

— L'acide stéarique, dont on importe 84.000 Kgs. pour 860.000$00, pourrait être extrait des graisses de surplus.
— L'acide oléïque (importation 165.000 Kgs. pour 1.500.000$00) pourrait être extrait de l'huile d'olive de qualité inférieure peu cotée sur le marché. La marge de prix dc 90$00 le kilo d'acide oléïque à quelque 10$00 ou 15$00 le litre d'huile d'olive, doit certainement permettre une exploitation rentable qui pourrait, par exemple, être greffée sur une savonnerie.
— L'acide oxalique (importation 170.000 Kgs. pour 1.300.000$00) pourrait être obtenu par oxydation nitrique des hydrates de carbone dont le pays est potentiellement riche.
— L'acide citrique (importatiou 81.000 Kgs. pour 1.200.000$00) peut être aisément obtenu à partir des agrumes ou par fermentation citrique.
— L'acide tartrique, dont on importe 365.000 Kgs. pour 5.300.000$00, mérite une mention particulière: et c'est peut-être lui qui est à l'origine de cette conférence. Le Portugal, grand producteur de vins, est très riche en sous-produits du vin dont on extrait cet acide. Je n'arrive pas à comprendre pourquoi les usines qui ont été à plusieurs reprises montées pour cette fabrication n'ont pas été rentables, et je ne veux pas croire qu'elles aient dû fermer leurs portes par suite d'un «dumping» de trust.
— Le pays importe pour 9.000.000$00 d'insecticides et de fongicides. Une bonne partie de cette importation pourrait être supprimée par la fabrication locale ou coloniale d'extraits nicotiniques, ou mieux encore, par la fabrication des dérivés chlorés de résineux qui se sont révélés très efficaces.

A cette énumération, bien incomplète, de produits donnant lieu à importations, je crois devoir ajouter quelques exemples relatifs à des produits n'impliquant pas d'importation notables.

Peu de sels de potassium sont importés au Portugal, mais le pays dispose de marais salants dont les eaux mères sont généralement abandonnées. Elles sont cependant riches en sel de potassium et sont une source intéressante pour le brome et la magnésium, ce dernier étant très coté sur le marché mondial.

A ce propos, je crois devoir signaler ici l'existence, à Paris, de la STEC, qui se charge sans engagement et sans paiement (pour peu que la demande soit sérieuse) d'étudier des avant-projets d'usines. Je lui ai envoyé le gros ouvrage de Charles Lepierre sur les marais salants portugais: elle est en train d'en faire l'étude du point de vue des applications industrielles.

Dans un même ordre d'idées, il faut citer les ressources de l'Algarve en figuier et caroubier, qui sont des sources riches en hydrate de carbone. Leur transformation en alcool est interdite, mais il serait possible, avec un matérial simple fabriqué au Portugal, d'obtenir des dérivés de fermentation qui seraient fort bien venus. Je ne veux pas citer

ici la longue liste des produits qu'on pourrait obtenir de cette façon, mais je répéterai, comme l'a dit spirituellement M. l'Ingénieur Mercier Marques, que les microbes travaillent pour rien.

Parallèlement, il faut signaler également les possibilités d'hydrolise des grignons d'olive et, plus généralement de produits riches en pentosanes, que l'on peut trouver également en Algarve. On connait pour ce type d'industrie des exemples d'usines de taille raisonnable, n'impliquant pas des mises de fond énormes, et d'un fonctionnement très souple. Ces matières premières peuvent servir de point de départ pour la production du furfural, du glucose, des alcools, des acides organiques, des levures alimentaires ou des engrais, la proportion entre ces différents produits étant modifiable à volonté.

Je voudrais enfin, dans cette première partie, mentionner au moins certaines industries spéciales qu'il serait intéressant d'étudier:

La décoloration de la colophane par traitement du furfural et du solvant naphta.

La valorisation au Portugal de l'ergot de seigle, qui est exporté à l'état brut pour des valeurs très considérables.

Enfin, l'utilisation du lignite — le Portugal est le troisième pays d'Europe par ses réserves en lignite (1.300 millions de tonnes certaines et 4.200 probables) avec une richesse presque équivalente à celle de la Yougoslavie. Ce lignite n'a été que peu exploité jusqu'à présent (en 1946, 120.000 tonnes ont été transformées en engrais). Sa transformation en carburant national est une possibilité qui présenterait un intérêt certain en cas de conflit, bien que la situation géographique particulière du pays l'incite à croire qu'il pourra importer les 100.000 T. de pétrole brut qui lui sont nécessaires chaque année.

Je ne continuerai pas cette énumération déjà longue, et en particulier je passe sous silence tous les produits médicamenteux qui pourraient être extraits des plantes et qui sont, pour le Portugal, un don de Dieu.

Il est bien évident que dans ce qui précède figurent un certain nombre de possibilités qui ne sont pas rentables du point de vue industriel, si l'on ne tient compte que de la quantité importée.

A titre d'exemple, je rappellerai que les Américains considèrent qu'une usine de fermentation d'acide citrique doit avoir une production annuelle minimum de 5.000 T. pour être rentable. Nous sommes évidement loin des 80.000 Kgs. importés par le Portugal. Cependant, il est évident que les minima considérés aux Etats-Unis ne sont pas applicables au Portugal, où les conditions économiques sont très différentes; par ailleurs, si on arrive à produire à un prix intéressant au Portugal, l'exportation pourra être envisagée. Et je veux mentionner à ce propos l'intéressant article du Dr. Isabel Collaço, paru dans le Journal de Genève, démontrant la nécessité, pour le Portugal, d'augmenter ses exportations.

Cette éventualité peut d'autant plus aisément être envisagée que la main d'oeuvre est au Portugal bien meilleur marché qu'en France ou dans la plupart des pays. A titre d'exemple pour une usine de petites dimensions, je voudrais citer ici le cas des usines de pâte à papier qui fonctionnent dans des conditions très honorables et qui sont, toutes, au dessous des minima généralement admis pour qu'une usine soit rentable. On trouverait au Portugal bien d'autres industries qui sont, elles aussi, rentables, bien qu'elles soient inférieures aux dimensions minima admises dans les pays fortement industrialisés.

II

J'en arrive maintenant à vous exposer un deuxième aspect potentiel du développement de l'industrie portugaise: la constance de la qualité des produits portugais.

Dans mon petit laboratoire de chimie, je reçois souvent la visite de gens qui viennent me demander de leur faire des analyses. Je me défends tant que je peux, car je

ne suis pas outillé pour cela et, surtout, je n'ai pas le personnel nécessaire, mais cependant je ne puis faire autrement, quelquefois, que de m'exécuter. J'ai ainsi eu deux fois l'occasion de toucher d'assez près les questions de qualité des produits du pays. Une première fois, il s'agissait d'un conflit entre un acheteur français d'essence de térébenthine et un fournisseur portugais. Le premier prétendait que la teneur en pinène nopinène de l'essence livrée était inférieure de 5 % à l'essence habituelle. L'explication de cette différence, qui sur une grosse livraison avait une importance considérable, pouvait être trouvée dans le fait que la pinède portugaise comporte, en plus du pin maritime et du pin silvestre, une certaine quantité de pins pignon ; or le gemmage du pin pignon entrainait une diminution de produit utile, en apportant du limonène qui est sans intérêt du point de vue considéré.

Un autre exemple, également vécu à la suite d'analyses faites au laboratoire, est relatif à l'essence d'eucalyptus. L'essence d'eucalyptus portugaise est vendue sur le marché à un tarif très intéressant, mais les acheteurs français se plaignent d'irrégularités dans les livraisons. Ces variations ne prennent d'ailleurs pas du tout l'aspect de fraudes, car les produits livrés sont parfois meilleurs, parfois moins bons, que les échantillons sur lesquels le marché a été conclu.

On pourrait rapprocher des deux exemples précédents celui d'autres produits qui comportent d'importantes variations, le fromage de la Serra, ou certains vins portugais, qui présentent de fortes variations dans leur qualité.

Cette absence d'uniformité et de standardisation des produits fabriqués peut être attribuée à l'individualisme propre aux pays latins, encore accentué au Portugal par le fait que beaucoup d'industries sont encore à l'état artisanal ou semi-artisanal. Je crois qu'il y aurait là quelques progrès faciles à faire, car les considérations sentimentales qui agissent sur l'esprit latin n'ont aucun poids quand il s'agit d'affaires, surtout sur le marché international.

À ce propos je voudrais dénoncer une déplorable habitude qui heurte violemment mes sentiments vis-à-vis de ce pays.

Dans les journaux, au cinéma, dans les magasins l'argument ultime de la publicité semble être «é um produto estrangeiro».

Je proteste avec énergie. Sans vouloir passer ici en revue la longue série des produits nationaux de qualité, je me bornerai à dire que j'ai toujours acheté portugais chaque fois que je l'ai pu et que je n'ai jamais encore eu à m'en repentir.

Il y a là un état d'esprit qu'il faut redresser, et l'on y parviendra d'autant plus aisément que la standardisation fera apparaître sur le marché des produits de qualité plus constante.

D'ailleurs, des réalisations remarquables ont déja été obtenues dans cet ordre d'idées avec les conserves de poisson et le controle du vin de Porto.

III

J'en viens maintenant à un troisième aspect potentiel de l'industrie portugaise. C'est le plus délicat à exposer pour moi, mais c'est en me plaçant au point de vue de votre intérêt national que je me permets de l'aborder.

Les industries de ce pays sont dirigées, en grande partie, par les jeunes gens qui sortent de cette Ecole. Certaines conversations avec des anciens et des jeunes m'ont laissé l'impression que l'esprit de recherche scientifique, au sens propre du mot, n'apparait pas dans l'ensemble très développé chez eux. La tendance semble plutôt dirigée vers l'utilisation de procédés connus, généralement mis au point à l'étranger, ce qui se traduit, naturellement, par la nécessité de payer des droits de brevets souvent très importants.

Comme les Conseils d'Administratiou des entreprises ne semblent guère plus préoccupés par les recherches scientifiques, on aboutit à une situation qui paralyse le dynamisme de l'industrie portugaise.

Si quelqu'un s'avisait de déclarer:

> «Nous voulons seulement former des ingénieurs et non pas des chimistes».

il provoquerait certainement quelque étonnement. La réaction serait encore plus forte, si un autre affirmait:

> «La chimie de laboratoire est sans intérêt, seule
> la chimie technique vaut la peine d'être considérée».

Supposez enfin une déclaration du genre de celle-ci:

> «Nous n'avons pas besoin de faire des recherches sur telle ou telle question, car les Espagnols s'en occupent».

Vous imaginez les protestations légitimes qu'elle susciterait.

Or, je n'ai naturellement jamais entendu de tels propos; mais tout se passe comme si la tendance qu'ils révèlent existait implicitement dans beaucoup d'esprits. Il y a là un symptôme alarmant. Mais sans doute avais-je mal compris.

A supposer cependant que je ne me sois pas trompé, il faudrait en conclure que mes interlocuteurs ignoraient que la recherche scientifique d'un pays est un des aspects de la lutte de ce pays pour assurer sa place dans le monde. L'absence de recherches scientifiques entraine fatalement une vassalisation des industries faibles par rapport aux industries puissantes. Cet aspect de la lutte a d'ailleurs été déjà souligné avec précision et autorité par mon excellent Collègue M. l'Ingénieur Almeida Alves, dans son discours d'ouverture de l'Université Technique.

Il est relativement facile de considérer la recherche scientifique comme une quantité presque mesurable. Ainsi, aux Etats-Unis, il est fréquent de voir les usines consacrer 5 % et 10 % de leur budget à la recherche. Dans certains cas, cette proportions atteint même 25 %, et quelquefois 50 %. En Allemagne il suffit de citer l'exemple de la *Basf* et son puissant état-major de recherche, qui coûte des sommes considérables à l'usine mais qui, en fin de compte, lui rapporte le moment venu des sommes encore plus considérables.

Il n'est pas douteux que c'est la recherche scientifique allemande qui est à l'origine du redressement extraordinaire de l'industrie de la République Fédérale depuis la fin de la guerre.

La Hollande ou la Belgique, la Suisse ou le Danemark, inspireraient des réflexions analogues. Il ne s'agit donc pas là d'une question de dimension du pays considéré, d'autant que les deux derniers pays mentionnés n'ont, par surcroît, pas d'Empire Colonial.

En France, on a assez longtemps négligé cette question de la recherche scientifique, mais on est en train de rattraper le temps perdu, et des sommes énormes sont investies par l'Etat et les industriels dans la recherche. On assiste même à une nouveauté qui va à l'encontre de l'esprit individualiste latin: des groupes d'industriels financent des laboratoires de recherche qui travaillent pour eux en commun.

Les quelques exemples qui précèdent illustrent, je crois, suffisamment la nécessité de la recherche scientifique; le Gouvernement Portugais en a d'ailleurs conscience, et il suffit pour le prouver de mentionner le rôle très important joué par l'Instituto de Alta Cultura dans l'encouragement à la recherche.

Je m'empresse d'ajouter que plusieurs industries portugaises se préoccupent également d'organiser la recherche dans le secteur qui les intéresse.

Et puisque j'en suis à cette question de la recherche scientifique appliquée à l'industrie, je ne puis esquiver, si délicat soit-il, un aspect qui m'a vivement frappé.

La recherche scientifique est faite par l'élite intellectuelle du pays. On ne s'improvise pas chercheur, pas plus qu'on ne s'improvise prêtre. Il y faut une véritable vocation. Or, au même titre que le religieux a la charge de découvrir les vocations, nous avons, nous, professeurs, la charge de découvrir les vocations de chercheurs et de les développer. Et quand je parle du professeur, il s'agit tout aussi bien de l'enseignement théorique que de l'enseignement pratique. Or, il est indiscutable que ce n'est pas aux cours que l'on découvre ces vocations, mais bien au laboratoire de travaux pratiques. C'est là qu'elles peuvent être développées, mais c'est là aussi qu'elles peuvent être étouffées. Et je voudrais mettre ici l'accent sur la responsabilité du chef de travaux et, par conséquent aussi, du professeur qui le couvre, dans l'action qui peut influencer la vocation du chercheur.

S'il existe au laboratoire une atmosphère de travail, une émulation, les étudiants y travailleront avec plaisir et enthousiasme, et il sera relativement aisé de découvrir ceux qui sont doués pour la recherche. Si, par contre, il n'y a pas d'atmosphère — et c'est là qu'intervient la responsabilité du chef de travaux — les jeunes gens feront leurs travaux pratiques comme une corvée, n'y apprendront rien, et des vocations de chercheurs seront étouffées.

A mon avis, une grave responsabilité incombe de ce fait au corps enseignant, dont l'action peut exercer une influence directe sur la vitalité industrielle du pays.

Il est donc vital, pour le développement industriel national, que ceux qui acceptent librement la lourde charge pédagogique de l'enseignement pratique soient pleinement conscients de leurs responsabilités devant le pays.

En conclusion, je crois que l'industrie portugaise a beaucoup à gagner à une formation pratique plus approfondie des jeunes gens dont nous avons actuellement la charge. Il apparait comme fondamentalement souhaitable que les jeunes gens et jeunes filles qui sortent de la plus grande Ecole du pays aient, en plus de l'excellente formation qu'ils reçoivent déjà, une tournure d'esprit favorable à la recherche scientifique. Et cela n'implique pas du tout un alourdissement des programes, mais bien au contraire, un allègement de ceux-ci. L'enthousiasme pour le travail pratique rend la chimie beaucoup plus accessible, vivante et aisée à assimiler. C'est un catalyseur dont on méconnait trop souvent la puissance. En ce qui me concerne, je continuerai à apporter ma contribution dans ce sens autant que je le puis actuellement, et plus encore si je me sens compris.

Pour terminer cet exposé, je voudrais citer ici le propos tenu il y a très peu de temps par un homme universellement connu dans le monde de la Chimie depuis la fin de la guerre. Ce n'était pas un universitaire; c'était un ingénieur, un technicien, qui avait rapidement compris qu'il n'y a pas de discontinuité entre la recherche pure et la recherche appliquée. Il disait en substance:

> « CE SERAIT UNE GRAVE FAUTE DE NEGLIGER LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE EN FAVEUR DE LA TECHNIQUE. L'UNE SANS L'AUTRE EST STERILE, L'ENSEMBLE CONTRIBUE AU DYNAMISME DE L'INDUSTRIE D'UN PAYS. »

Cette mise en garde a été faite dans un pays en pleine évolution industrielle, comme l'est actuellement le Portugal: il s'agit du Japon. Celui qui parlait, était *Walter Reppe*, Directeur des Laboratoires de Recherches de la *Basf*, et celui écoutait était le *Mikado*.

X EXPOSIÇÃO DE FOTOGRAFIA DO I. S. T.

A Secção Fotográfica da Associação dos Estudantes do Instituto Superior Técnico realizará em Maio próximo a *X Exposição de Fotografia do I. S. T.*, tendo a honra de convidar V. Ex.ª a concorrer à mesma.

REGULAMENTO

1.º — Poderão concorrer à X Exposição de Fotografia do I. S. T. *todos os licenciados e estudantes de Universidades e Escolas Superiores Portuguesas.*

2.º — Serão admitidas fotografias de carácter artístico e documental, que não hajam figurado em anteriores Exposições de Fotografia do I. S. T.

3.º — As provas poderão ser viradas por qualquer processo não manual, não sendo aceites as reproduções de quadros e desenhos.

4.º — Serão aceites todos os formatos compreendidos entre 18 × 18 e 30 × 40 centímetros.

5.º — *No verso de cada fotografia deverão vir indicados :*

a) Género de trabalho (artístico ou documental)
b) Título do trabalho
c) Nome e morada do concorrente
d) Faculdade que frequenta (no caso de ser estudante).

6.º — Os trabalhos não poderão vir colados ou montados.

7.º — Cada concorrente pagará uma taxa de inscrição, que será de 10$00 para os sócios da A. E. I. S. T. e de 20$00 para os não sócios, independentemente do número de trabalhos que apresentar.

8.º — Os trabalhos deverão ser entregues contra documento ou enviados pelo correio para a Secção Fotográfica da A. E. I. S. T. Avenida Rovisco Pais, Lisboa.

9.º — Um Júri de Admissão fará a escolha dos trabalhos dignos de figurarem na Exposição.

10.º — O prazo de entrega dos trabalhos termina em 30 de Março, sendo a abertura do Salão em 1 de Maio às 18 horas. Todas as fotografias serão devolvidas 15 dias depois do encerramento da Exposição.

11.º — A Secção Fotográfica terá todo o cuidado com as provas recebidas, não se responsabilizando porém por eventuais perdas ou danos, devidos a transporte ou exibição.

12.º — Serão atribuídos prémios às duas classes. A todo o concorrente será enviado um catálogo e será atribuído um selo comemorativo por cada trabalho exposto.

13.º — Os casos não previstos neste Regulamento serão resolvidos pela Direcção da Secção Fotográfica da A. E. I. S. T.

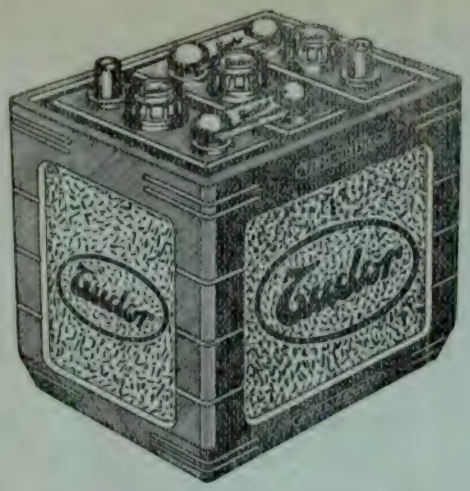
BOLETIM DE INSCRIÇÃO

N.º	Título
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	

Assinatura .....

Enviar juntamente com as fotografias.

Obs.: Em caso de enviar mais que 10 fotografias, pedir os boletins necessários para a Secção Fotográfica da A. E. I. S. T., Avenida Rovisco Pais, Lisboa.

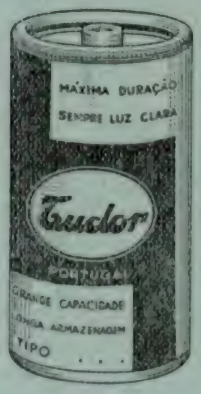


PARA: AUTOMÓVEIS, MOTOS
CAMIONETAS, ETC.

BATERIAS

Tudor

PILHAS SECAS



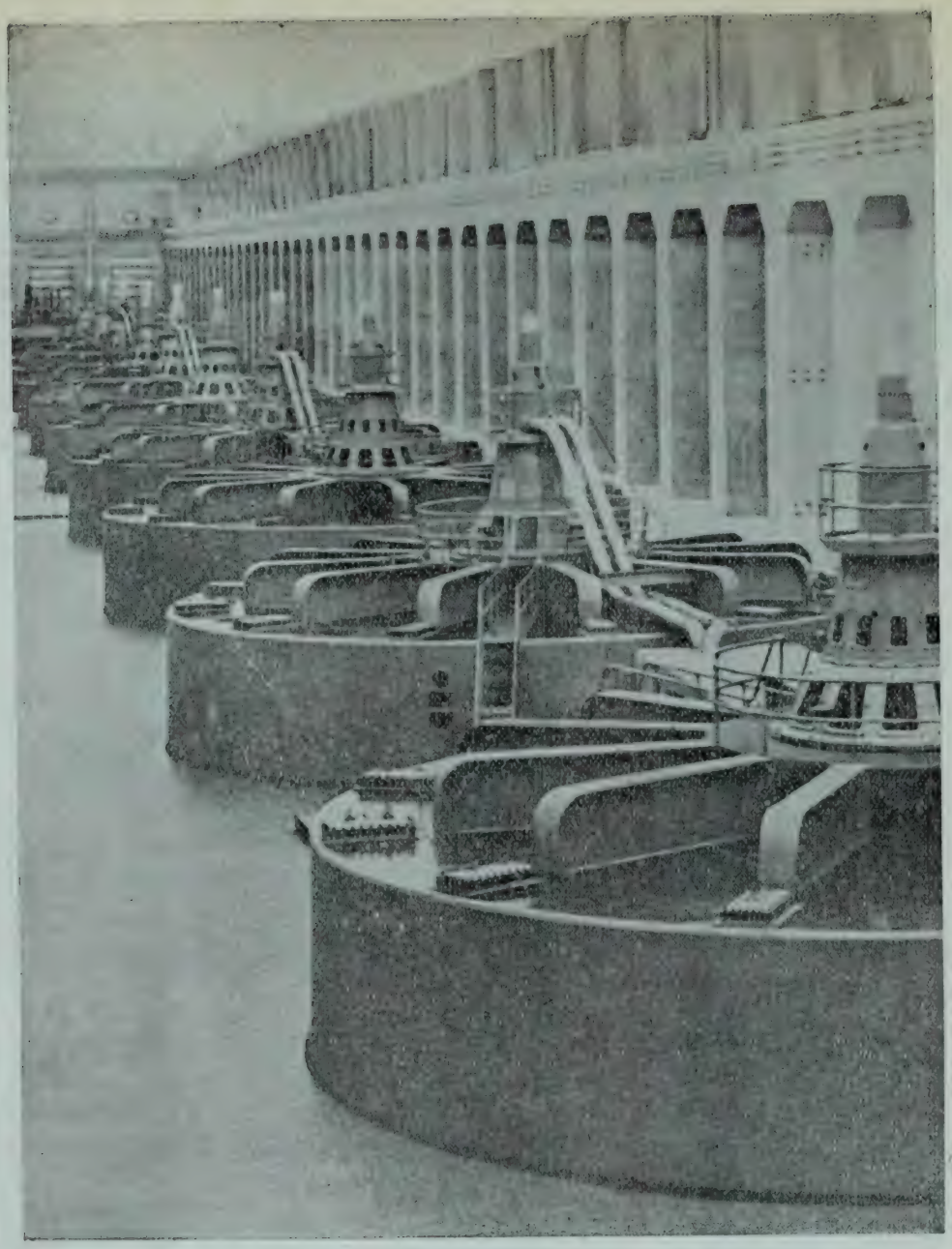
PARA: LANTERNAS, CAMPAINHAS, RÁDIORECEPTORES, TELEFONES, TELÉGRAFO, SINALIZAÇÃO, APARELHAGEM MEDICINAL, APARELHAGEM DE SURDEZ, ETC.

SOCIEDADE PORTUGUESA DO ACUMULADOR Tudor

ADMINISTRAÇÃO E ESCRITÓRIOS:
AV. FONTES PEREIRA DE MELO, 12
TELEFONES P. B. X.
5 1947 - 5 7104 - 5 7105
LISBOA

FÁBRICAS:
DAFUNDO
E
CASTANHEIRA DO RIBATEJO

OFICINAS E VENDAS:
R. DO ALECRIM, 99
TELEF. 2 0823
AV. ALMIRANTE REIS, 68
TELEF. 5 1948
R. FR. METRÁSS, 8-A
TELEF. 6 1688



A GENERAL ELECTRIC NO CAMPO DA PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉCTRICA

Central Hidro-Eléctrica contendo 10 grupos com alternadores verticais GENERAL ELECTRIC de 60 000 KVA, cada, instalada na barragem de Bonneville, no Rio Columbia, Estado de Oregon, E. U. A.

GENERAL ELECTRIC

Portuguesa, S. A. R. L.

LISBOA

Rua do Norte, 5

FILIAL NO PORTO

R. Sá da Bandeira, 585

C. D. 620.179.16

A UTILIZAÇÃO DOS ULTRASONS PARA O ESTUDO DAS PROPRIEDADES DOS MATERIAIS

J. FERRY BORGES

Eng.º Chefe da Secção de Estruturas do Laboratório Nacional de Engenharia Civil

1. Introdução

Trata-se, no presente trabalho, da utilização de ultrasons para o estudo de propriedades mecânicas de materiais tendo principalmente em vista o emprego destes em engenharia civil.

Resume-se, em primeiro lugar, a teoria de propagação de ondas de vibração mecânica, com o fim de apresentar as relações entre as velocidades de propagação e as constantes elásticas dos materiais.

Ao estudar as utilizações dos ultrasons em engenharia, destacam-se, como tipos principais: as utilizações em que não interessa proceder a uma medição muito rigorosa dos tempos de propagação — caso da detecção de defeitos — e as utilizações em que a medição precisa dos tempos é indispensável para definir as velocidades de propagação e consequentemente as características mecânicas dos materiais.

O método em que se procede à medição de tempos de propagação tem tido recentemente enorme incremento e a sua utilização faz-se tanto no laboratório como nas próprias obras. O facto de o método não ser destrutivo e ser de fácil aplicação torna simples a determinação, em estruturas já construídas, das propriedades mecânicas dos materiais que efectivamente constituem a obra. Tal possibilidade é de enorme interesse para o estudo de obras de betão; neste caso, o método é usado não só para a determinação das propriedades mecânicas mas também para a detecção de fendas.

Actualmente este método está sendo aplicado para o estudo de rochas, tanto na resolução de problemas de fundação de barragens como de abertura e revestimento de galerias.

O método de prospecção sísmica, de larga aplicação em geofísica, baseia-se, do mesmo modo, no estudo da propagação de ondas. Principalmente utililizado na pesquiza de petróleo, actualmente o seu emprego generalizou-se para fins pròpriamente de engenharia civil tais como: definição de níveis friáticos, caracterização de terrenos para o estudo de fundação de obras, etc.

Ao descrever os tipos de aparelhos mais correntemente utilizados, procurou-se resumir a descrição do seu modo de funcionamento, sem entrar em detalhes técnicos acerca da sua construção. Definem-se, com um pouco mais de pormenor, as características da aparelhagem existente no Laboratório Nacional de Engenharia Civil — recentemente construída em Portugal — com vista ao esclarecimento das possibilidades do seu emprego.

Uma das mais largas utilizações dos ultrasons em engenharia civil tem visado o estudo do betão. Sintetizam-se os trabalhos realizados em laboratórios estrangeiros e indicam-se as principais conclusões obtidas no recente colóquio, realizado em Paris, acerca deste assunto.

Apresentam-se, também, os resultados dos ensaios efectuados com a aparelhagem existente no Laboratório Nacional, nos quais se procurou estudar a dispersão das propriedades mecânicas do betão com vista ao estudo estatístico destas propriedades.

Quanto ao estudo de outros materiais, indicam-se os tipos de ensaios que têm sido realizados e quais as perspectivas futuras que se antevêem para o método. Alguns

primeiros ensaios, realizados no Laboratório, mostram este caminho muito prometedor.

2. Propagação de ultrasons em sólidos

Designam-se por ultrasons vibrações mecânicas do tipo das vibrações sonoras, mas de frequências superiores às destas. Os ultrasons correntemente utilizados têm frequências compreendidas entre 20 kC seg^{-1}, limite superior da audição, e 100.000 kC seg^{-1}.

As vibrações ultrasonoras, como vibrações mecânicas que são, podem propagar-se nos sólidos por três modos distintos principais: por ordas longitudinais, por ondas transversais e por ondas de superfície ou de Rayleigh.

Nas ondas longitudinais os diferentes pontos do sólido deslocam-se, na vizinhança da sua posição média, com trajectórias paralelas ao sentido de propagação das ondas. Nas ondas transversais, pelo contrário, os deslocamentos dos pontos verificam-se segundo uma direcção normal à direcção de propagação. Finalmente, as ondas de superfície ou ondas Rayleigh são vibrações da zona superficial dos sólidos, semelhantes às vibrações da superfície dos líquidos. Os pontos têm neste caso trajectórias cujo plano contém a direcção de propagação.

Para sólidos de forma especial podem ainda as ondas tomar aspectos particulares tais como: ondas de flexão de placas e ondas de deformação de barras prismáticas [1].

Quando o sólido em que se propagam as ondas pode ser considerado como indefinido, a velocidade de propagação fica relacionada, por fórmulas simples, com as características mecânicas do material que constitui o sólido.

Assim, para materiais isótropos, é fácil demonstrar, a partir da teoria da elasticidade, que a velocidade de propagação de ondas longitudinais é dada em função do módulo de elasticidade, E_d, do coeficiente de Poisson, υ, e da massa específica, ρ, pela expressão

$$v_l = \sqrt{\frac{E_d}{\rho} \; \frac{1-\upsilon}{(1+\upsilon)\;(1-2\,\upsilon)}}$$

e da mesma forma a velocidade de propagação de ondas transversais é dada por

$$v_t = \sqrt{\frac{E_d}{\rho} \; \frac{1}{2\,(1+\upsilon)}}$$

Verifica-se assim que a relação entre as duas velocidades de propagação é

$$\frac{v_l}{v_t} = \frac{2\,(1-\upsilon)}{1-2\,\upsilon}$$

Na fig. 1 indica-se como variam $\frac{v_l}{\sqrt{\frac{E_d}{\rho}}}$ e $\frac{v_l}{v_t}$ para valores de υ compreendidos entre 0 e 0,5.

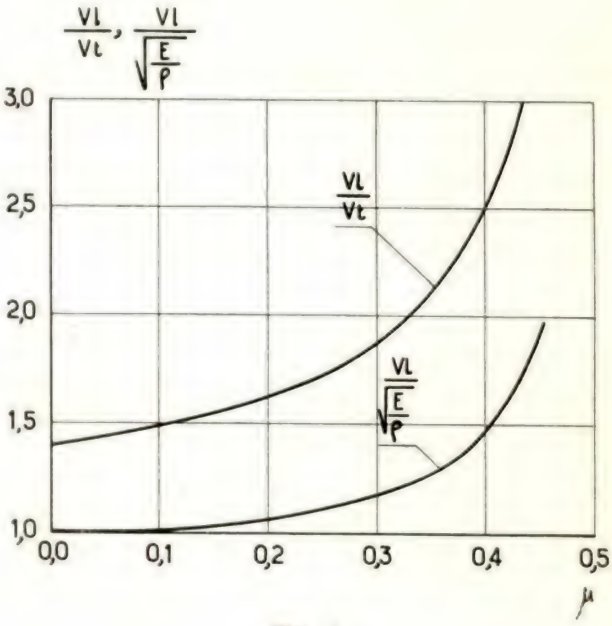


Fig. 1

As ondas de Rayleigh propagam-se com a velocidade

$$v_R = \frac{0{,}87 + 1{,}12\,\upsilon}{1+\upsilon} \sqrt{\frac{E_d}{\rho} \; \frac{1}{2\,(1+\upsilon)}}$$

Para os valores de υ compreendidos entre 0 e 0,5 a relação entre $\frac{v_R}{v_t}$ varia entre 0,87 e 0,95.

[1] Bergmann, L. — Der Ultraschall, 5 Auflage, S. Hirzel Verlag, Zürich, 1949.

Verifica-se, pois, que as ondas longitudinais são as que têm maior velocidade de propagação; para $\upsilon = 0{,}25$, a velocidade de propagação das ondas longitudinais é $\sqrt{3}$ vezes superior à velocidade de propagação das ondas transversais.

Quando as ondas longitudinais se propagam num sólido prismático em que as dimensões transversais são pequenas em relação ao comprimento, deve tomar-se, em vez da expressão anterior, $v_l = \sqrt{\frac{E_d}{\rho}}$ visto que, neste caso, a deformação transversal é livre.

Para um sólido indefinido a relação $\frac{v_l}{v_t}$ depende sòmente do coeficiente de Poisson; note-se que as velocidades de propagação não são muito afectadas por imprecisões no conhecimento do coeficiente de Poisson e dependem principalmente dos valores do módulo de elasticidade.

Os métodos de ensaio que estão sendo referidos tornam possível medir a velocidade de propagação das ondas longitudinais. O módulo de elasticidade, E_d, pode pois ser calculado a partir desta velocidade, v_l, pela expressão

$$E_d = \rho\, v_l^2\, \frac{(1+\upsilon)\,(1-2\upsilon)}{1-\upsilon}$$

Exprimindo a velocidade em $mseg^{-1}$, o peso específico, π, em kgm^{-3}, obtém-se

$$E_d = \frac{\pi}{98.000}\, v_l^2\, \frac{(1+\upsilon)\,(1-2\upsilon)}{1-\upsilon} = \alpha\, v_l^2$$

em que $\alpha = \frac{\pi}{98.000}\, \frac{(1+\upsilon)\,(1-2\upsilon)}{1-\upsilon}$; E_d vem expresso em $kgcm^{-1}$.

O módulo de elasticidade assim determinado designa-se por módulo de elasticidade dinâmico, em oposição ao módulo de elasticidade estático determinado nos ensaios mecânicos correntes (a partir do diagrama tensões-deformações).

Na fig. 2 apresenta-se um ábaco que permite calcular, para diferentes valores de v_l, π e υ, o módulo de elasticidade dinâmico, E_d.

Para a determinação, por métodos dinâmicos, do coeficiente de Poisson, pode utilizar-se a relação entre a velocidade de propagação das ondas longitudinais e das ondas transversais pois, como se viu, essa relação varia em função de υ.

Uma das características mais importantes das vibrações ultrasonoras reside no facto da sua emissão se poder fazer directionalmente. Para materiais homogéneos verifica-se que a abertura do feixe emitido é função do comprimento de onda e do diâmetro do cristal emissor.

No caso corrente de emissão por intermédio dum cristal de quartzo, pode afirmar-se que toda a energia fica pràticamente localizada num cone cujo ângulo de abertura, α, é dado por $\operatorname{sen}\frac{\alpha}{2} = 1{,}2\,\frac{\lambda}{D}$, em que λ é o comprimento de onda do ultrasom e D o diâmetro do cristal [1].

3. Utilização actual dos ultrasons em engenharia

A utilização dos ultrasons em engenharia faz-se de duas formas distintas principais: pelo estudo da reflexão e refracção de ondas para detecção e localização de defeitos e pela medição de tempos de propagação para a determinação das características mecânicas.

Para detecção de defeitos, não se torna necessário medir com precisão o tempo de propagação, basta analizar os ecos patenteados na lâmpada de raios catódicos. Para definir qual a profundidade a que se encontra o defeito é suficiente a precisão conferida pela base de tempo do oscilóscópio.

Para estas determinações podem utilizar-se aparelhos com um só transmissor, que tem também a função de receptor, ou com dois translatores [2], um servindo de transmissor e outro de receptor.

O método corrente consiste em emitir trens de ondas ultrasonoras suficientemente

---

(1) Carlin, B — Les ultrasons — Eyrolles Editeur, Paris, 1953.

(2) Designa-se por translator o dispositivo destinado a transformar os impulsos eléctricos em vibrações mecânicas e reciprocamente. O translator pode pois ter indiferentemente função de transmissor ou de receptor.

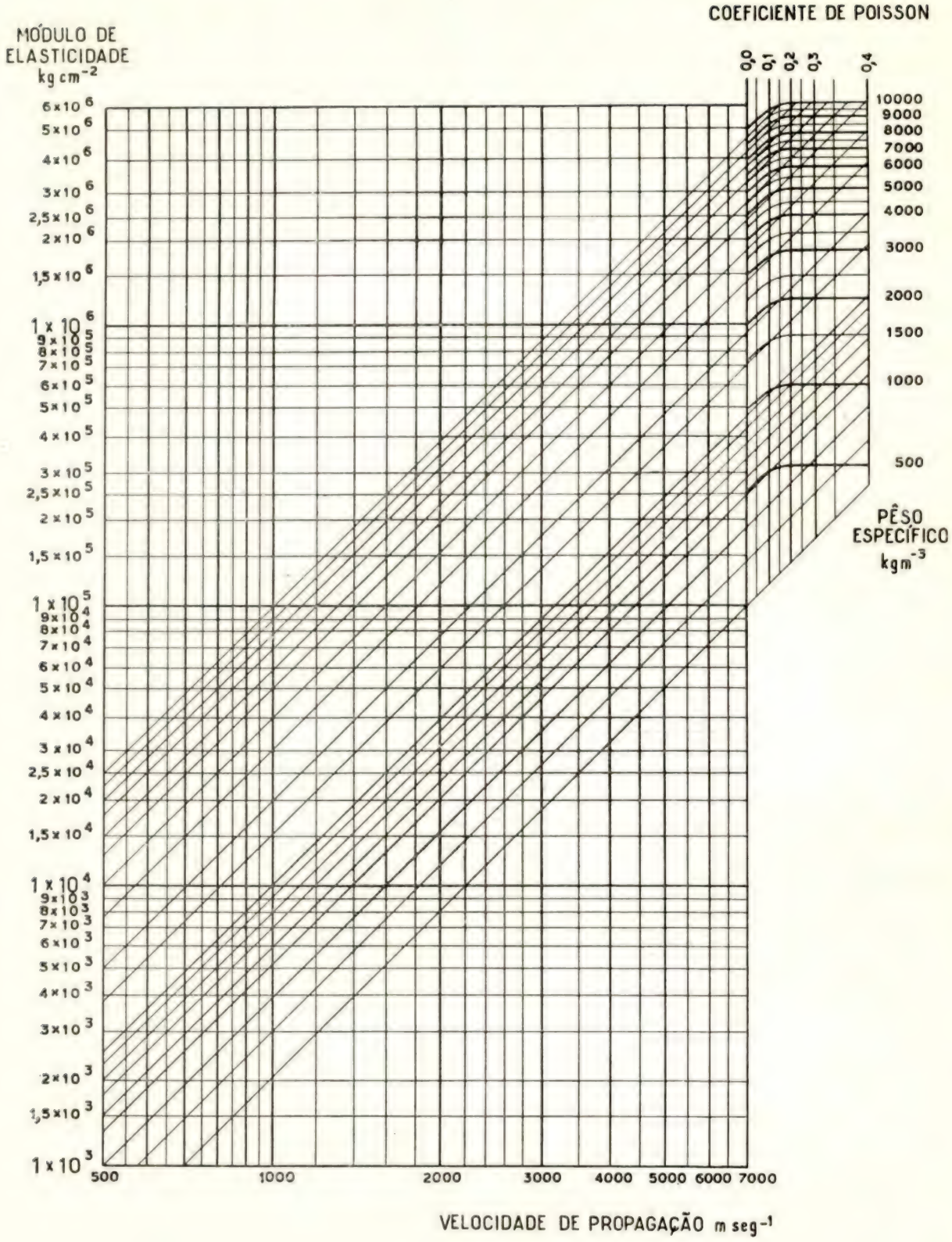

COEFICIENTE DE POISSON
0,0
0,1
0,2
0,3
0,4
MÓDULO DE ELASTICIDADE kg cm⁻²
6x10⁶
5x10⁶
4x10⁶
3x10⁶
2,5x10⁶
2x10⁶
1,5x10⁶
1x10⁶
9x10⁵
8x10⁵
7x10⁵
6x10⁵
5x10⁵
4x10⁵
3x10⁵
2,5x10⁵
2x10⁵
1,5x10⁵
1x10⁵
9x10⁴
8x10⁴
7x10⁴
6x10⁴
5x10⁴
4x10⁴
3x10⁴
2,5x10⁴
2x10⁴
1,5x10⁴
1x10⁴
9x10³
8x10³
7x10³
6x10³
5x10³
4x10³
3x10³
2x10³
1,5x10³
1x10³
10000
9000
8000
7000
6000
5000
4000
3000
2000
1500
1000
500
PÊSO ESPECÍFICO kgm⁻³
500
1000
2000
3000
4000
5000
6000
7000
VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO m seg⁻¹

Fig. 2

espaçados no tempo, de forma a serem recebidas sem interferência as ondas reflectidas ou refractadas que se pretende estudar.

A frequência de vibração de cada trem de ondas ultrasonoras é escolhida de acordo com os materiais a estudar; são correntes para metais frequências de ordem de 1 a 2 Megaciclos seg^{-1} e por vezes mesmo superiores.

Na fig. 3 apresenta-se o tipo de imagem obtida no osciloscópio quando da existência dum defeito.

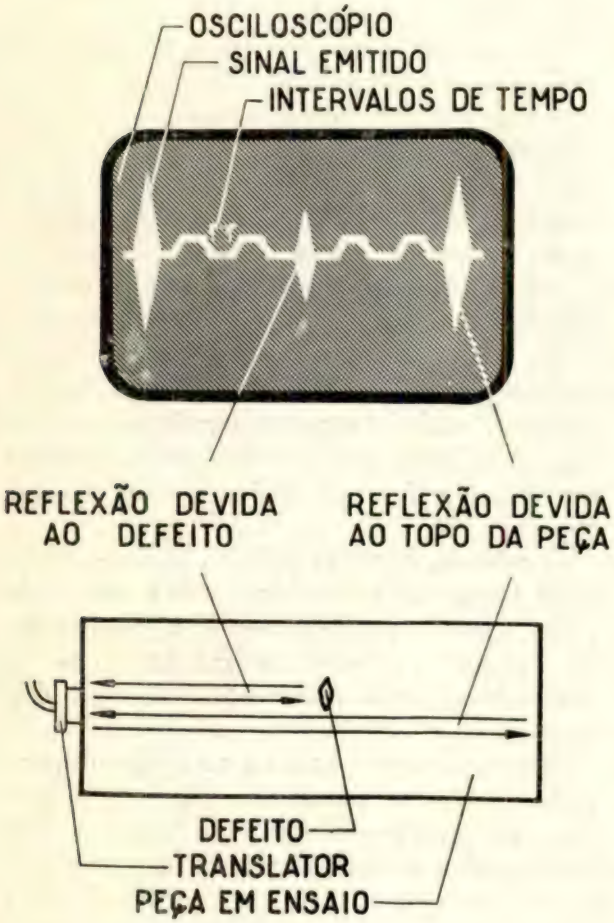


Fig. 3

O método é hoje correntemente utilizado para a detecção de defeitos especialmente em peças fundidas, peças soldadas ou em peças sujeitas à fadiga. É possível atravessar, no caso do aço, espessuras da ordem dos 10 m o que é perfeitamente suficiente para as necessidades da indústria metalo-mecânica.

Esta técnica é também utilizada para a medição de espessuras (caso da laminagem de chapas, construção de depósitos, etc.) e para outras verificações de fabrico.

A existência de defeitos também pode ser evidenciada pelo amortecimento dos ultrasons ao atravessarem as peças em estudo. Quando nas zonas atravessadas existe um defeito o ultrasom sofre um amortecimento maior do que nas restantes.

Os métodos de detecção de defeitos por ultrasons estão hoje muito generalizados. Existem em Portugal vários aparelhos em funcionamento sendo de referir, como especial utilização, a detecção de fendas em veios de rodados de caminhos de ferro para a prevenção de roturas por fadiga.

Com o mesmo princípio funcionam as sondas utilizadas para a medição de fundos (em navegação marítima), para a detecção de submarinos e para a detecção de cardumes (na indústria de pesca).

Quando se pretende medir a velocidade de propagação das ondas ultrasonoras, é necessário dispor de técnicas que permitam a medição rigorosa de tempos muito curtos. De facto, se se pretender estudar, por exemplo, uma peça de betão com 10 cm de espessura, como a velocidade de propagação das ondas longitudinais é da ordem de 4.000 m seg^{-1}, o tempo de propagação será de 25 μ seg; para que seja possível medir este tempo com a precisão conveniente, é necessário utilizar dispositivos que forneçam indicações com precisão da ordem de alguns décimos de micro-segundo.

As montagens electrónicas utilizadas para este fim baseiam-se, em geral, num osciloscópio catódico. Quando se trata de medir a velocidade de propagação entre pontos a distâncias bastante maiores (da ordem das centenas de metros) os tempos de propagação são já da ordem dos décimos de segundo e podem utilizar-se neste caso oscilógrafos com registo óptico ou mecânico sobre tiras de papel que se deslocam a velocidade conveniente.

Os aparelhos actualmente utilizados permitem medir os tempos de propagação com erros suficientemente pequenos, tornando possível calcular as velocidades e, conse-

quentemente, os módulos de elasticidade dinâmicos com precisões perfeitamente satisfatórias. O princípio de funcionamento consiste na produção de trens de ondas e na medição das velocidades de propagação das frentes de onda.

Em muitos casos a frequência do trem de ondas é imposta pela frequência de vibração do transmissor, mas, em outros casos, o trem de ondas é simplesmente obtido por percussão mecânica do material em que se pretende estudar a propagação. Neste caso a frequência de vibração não é imposta e depende das características do elemento com que se obtém a percussão e do próprio material em estudo. A percussão pode ser obtida por choque mecânico ou por detonação de explosivos.

O método em que se utilizam trens de ondas de frequência bem definida é principalmente utilizado para o estudo dos materiais de construção correntes; os métodos em que a percussão se faz por explosivos são principalmente utilizados em estudos geofísicos por prospecção sísmica. Note-se entretanto que os princípios fundamentais são comuns.

Para os ensaios de medição de velocidades de propagação em materiais de construção correntes utilizam-se frequências compreendidas entre 20 e 200 kC seg^{-1}. A escolha da frequência mais conveniente depende das propriedades de dispersão do material em que se pretende fazer a transmissão.

As frequências elevadas têm a vantagem de permitirem uma medição mais precisa dos tempos de propagação (as frentes de onda são mais bem definidas) e a obtenção de ondas muito dirigidas. Porém, para materiais heterogéneos como o betão, as rochas e os solos, o amortecimento dos ultrasons, para as altas frequências, é tão grande que só é tècnicamente possível atravessar pequenas espessuras; para realizar a transmissão ao longo de percursos maiores há neste caso vantagem em utilizar frequências mais baixas.

No caso do betão, para frequências de 200 kC seg^{-1} é apenas possível atravessar espessuras da ordem dos 60 cm, enquanto que para frequências de 20 kC seg^{-1} é já possível efectuar medições para percursos da ordem dos 15 a 20 m.

Como se disse, a partir do conhecimento das velocidades de propagação, é fácil calcular o módulo de elasticidade e o coeficiente de Poisson do material em que se faz a propagação. Estes parâmetros, além de definirem o comportamento elástico, podem servir para o estudo de certas propriedades dos materiais desde que, por experiências ou por considerações teóricas, seja possível relacionar estes parâmetros com essas propriedades.

No caso do betão, por exemplo, foram já realizados numerosos estudos para relacionar o módulo de elasticidade dinâmico com a tensão de rotura por compressão e para permitir assim uma determinação indirecta, mas com a vantagem de não ser destrutiva, desta tensão de rotura.

Sempre que se trate de estudar a evolução de propriedades mecânicas no tempo, o que tem especial interesse, por exemplo, para averiguar a deterioração por vários agentes: ciclos de gelo e degelo, corrosões, etc., o método ultrasonoro presta óptimos serviços e está sendo utilizado cada vez em maior grau.

O método, como se referiu, pode ser aplicado tanto no laboratório como nas próprias obras e permite não só a localização de defeitos ou heterogeneidades como a determinação das constantes elásticas dos materiais

Interessa notar que as medições dependem do que se passa ao longo de todo o percurso atravessado pelos ultrasons. Tal facto muito contribui para que o método possa dar uma visão global dos fenómenos e localizar heterogeneidades ou descontinuidades que possam passar desprecebidas numa amostragem do tipo traducional.

Esta última característica é especialmente importante para o estudo de obras de grandes dimensões, como por exemplo barragens, e nos estudos de prospecção geofísica.

É preciso não esquecer que os fenómenos de propagação de ondas são por vezes extremamente complexos e que os elementos

obtidos pelas medições no campo serão muitas vezes difíceis de interpretar. Parece, entretanto, claro que o auxílio prestado por este método pode ser precioso para a resoção de numerosos problemas.

O que mais contribui para tornar vantajosa a sua aplicação é o facto do método não ser destrutivo e ser de emprego simples.

O crescente interesse dos métodos ultrasonoros é patenteado pela realização recente de dois simpósios organizados pela American Society for Testing Materials ([1]) e ([2]) e dum colóquio organizado pela Reunião Internacional dos Laboratórios de Ensaio de Materiais de Construção, que se refere adiante.

4. Aparelhos utilizados para a medição de tempos de propagação

Os aparelhos utilizados para a medição da velocidade de propagação de ondas sonoras ou ultrasonoras podem ser classificados de acordo com a forma por que são produzidos os choques. Assim, a energia mecânica necessária para o choque pode resultar: de transformação da energia eléctrica, de percussão mecânica ou ainda da detonação de explosivos.

Nos aparelhos do primeiro tipo, o próprio impulso eléctrico que gera a vibração faz arrancar o dispositivo de medição do tempo. Nos aparelhos em que o choque não é obtido por transformação de impulsos eléctricos torna-se necessário dispor de um translator independente para iniciar a contagem dos tempos.

Pretendendo-se medir a velocidade de propagação entre dois pontos, coloca-se, em cada um deles, um translator que é ligado ao aparelho de medição de tempos; a função do primeiro translator é iniciar a marcha do dispositivo de medição de tempo e a do segundo transmitir a esse dispositivo o sinal correspondente à chegada da onda de choque.

Para realizar a medição pode-se sobrepor num osciloscópio, aos sinais dos translatores, uma escala de tempos. Outro método consiste em impor uma translação ao sinal recebido de forma a fazer coincidir a frente de onda desse sinal com a posição do sinal emitido; essa translacção é obtida por variação duma resistência convenientemente graduada para a indicação de intervalos de tempo.

Nos aparelhos que se utiliza uma escala de tempos sobreposta no osciloscópio, a interpolação para medição do tempo de propagação entre duas divisões da escala faz-se, por vezes, por um método semelhante ao anterior obrigando o sinal recebido a deslocar-se até coincidir com um dos traços da escala dos tempos. O deslocamento do sinal é obtido pela variação dum potenciómetro graduado em fracções da escala de tempos projectada no osciloscópio.

Os dispositivos descritos adaptam-se bem à medição de tempos muito curtos, da ordem de 10^{-6} seg, sendo correntes precisões de 0,1 μ seg.

Quando se trata de medir tempos mais longos, o que sucede quando se pretende efectuar medições da velocidade de propagação entre pontos a distâncias da ordem da centena de metros, podem-se utilizar oscilógrafos electromecânicos com registo óptico ou mecânico. Em ambos os casos os impulsos eléctricos são transmitidos a galvanómetros que, ou fazem rodar um feixe luminoso que impressiona um filme sensível, ou uma haste cuja extremidade traça sobre papel as vibrações transmitidas pelo translator. As velocidades de translacção do papel em que se faz o registo são, normalmente, da ordem dos 10 a 40 cm seg^{-1} ou mesmo superiores.

Para produzir as vibrações mecânicas, no caso em que se pretende obter estas vibrações a partir de impulsos eléctricos, pode-se utilizar o efeito piezo-eléctrico do quartzo, de sais de Rochelle ou de cerâmicas de titanato de bário.

Pelo último processo, que é o mais recente, é possível obter, para o mesmo impulso eléctrico, vibrações mecânicas de

---

([1]) Symposium on Ultrasonic Testing — A. S. T. M. — S. T. P. n.º 101, 1949.

([2]) Symposium on Ultrasonic Testing — A. S. T. M. — S. T. P. n.º 145, 1953.

amplitude muito superior às obtidas pelos cristais de quartzo.

Quando as vibrações mecânicas são obtidas a partir de impulsos eléctricos utiliza-se para receptor um translator perfeitamente idêntico ao transmissor de forma a que a frequência própria de vibração de ambos seja a mesma, o que aumenta muito a energia recebida.

No caso em que a vibração é obtida por percussão, também esta é, em geral, cadenciada de forma a obter no osciloscópio imagens com permanência satisfatória. Um detector de choques, ligado ao martelo percussor, gera os impulsos que fazem arrancar a base do tempo. Para a recepção das vibrações, podem utilizar-se translatores baseados no efeito piezo-eléctrico, como os anteriormente referidos, ou translatores de magneto-estricção. A vantagem destes últimos reside no facto de permitirem a recepção direccional das vibrações tornando possível distinguir as ondas longitudinais, das transversais e das de Rayleigh.

Quando para a medição de tempo não se utiliza um osciloscópio mas sim um cronómetro de capacidade ou um contador de tempo doutro tipo, as percussões não são cadenciadas, realizando-se uma medição por cada percussão. Neste caso os translatores são independentes do martelo e colocados a certa distância dele; o primeiro translator, mais perto do martelo, faz iniciar a contagem do tempo e o segundo fá-la terminar. Nestes aparelhos o tempo que a frente de onda leva a percorrer a distância entre os dois translatores é indicado directamente numa escala.

Finalmente, nos casos em que as vibrações obtidas por percussões mecânicas não tem ainda energia suficiente para permitir efectuar medições entre pontos distantes produzem-se as vibrações pela deflagração de explosivos. Nestes casos os translatores são designados por geofones e baseiam-se, correntemente, em variações de efeitos indutivos ou capacitivos. Para a medição dos tempos de propagação utilizam-se, em geral, oscilógrafos electromecânicos de vários canais que registam as vibrações recebidas pelos diferentes geofones.

Fig. 4

5. Aparelhagem existente no Laboratório Nacional de Engenharia Civil

O aparelho existente no Laboratório Nacional de Engenharia Civil, fig. 4, foi construído em Portugal de acordo com os

SOCIÉTÉ ALSTHOM

PARIS

Central de Pouget — Sala de máquinas

DELEGADOS EM PORTUGAL

AGÊNCIA GERAL DE MATERIAL ELÉCTRICO, L.DA

Rua dos INDUSTRIAIS, 4, 1.° • LISBOA • Telefone 6 0692 - 6 6082

No Continente como no Ultramar defendem e seguram importantes capitais aplicados nas grandes obras hidro-eléctricas nacionais:

BELVER
CABRIL
CASTELO DO BODE
MABUBAS
SERRA DA ESTRELA
PRACANA
SALAMONDE
VENDA NOVA

PRODUTOS INERTOL

A Construção Civil confia-lhes, também, a protecção de seus:

ALICERCES
EMPENAS
TERRAÇOS
CASAS DE BANHO
PISCINAS
DEPÓSITOS
TUBAGENS
ETC., ETC.

Pelos telefones:

LISBOA 56999 • PORTO 27648

presta-se assistência imediata a qualquer consulta ou informação

MÁRMORES

aos melhores preços

Em todas as aplicações

A MAIOR PRODUÇÃO DO PAÍS

Pedidos à

Sociedade dos Mármores de Portugal, L.da

Rua de S. Domingos de Benfica, 63

LISBOA

tintas para artistas

Mantendo um serviço destinado aos artistas de todo o Mundo, Reeves, os principais fabricantes britânicos de tintas, estudaram as necessidades dos pintores durante quase 200 anos, tendo alcançado uma reputação com as suas tintas e equipamentos de primeira qualidade que não tem rival. Todos os materiais empregados na sua manufactura são cuidadosamente ensaiados e seleccionados de modo a produzirem tintas de completa confiança e brilho extraordinário, tão úteis para proporcionarem aquela segurança indispensável para trabalhos com êxito.

REEVES & SONS, LTD.
DALSTON, LONDON
ENGLAND

Quaisquer que sejam as suas necessidades, **Reeves** dará perfeição ao seu trabalho com:

Tintas de óleo «GOYA»
Aguarelas
Lápis para Pastel
Pincéis
Guaches · Puneses

e todos os materiais indispensáveis para os artistas

Representante em Portugal:

A. Lopes da Silva

Rua dos Fanqueiros, 15 2.º
LISBOA

O NOME REEVES É UMA GARANTIA DE CONFIANÇA

Reeves

esquemas relativos ao aparelho utilizado no Road Research Laboratory [1].

As vibrações ultrasonoras são produzidas por cristais de quartzo, com a frequência própria de 100 kC seg^{-1}, cortados segundo o eixo dos xx. Os dois translatores, que servem de transmissor e receptor, são perfeitamente idênticos e podem ser intercomutados.

Os impulsos que produzem as vibrações ultrasonoras são repetidos com frequência de 100 ciclos seg^{-1}. O tempo de propagação é medido por comparação com uma escala, graduada em intervalos de 10 μ seg, traçada na lâmpada de raios catódicos por um oscilador que vibra com uma frequência bem determinada.

Para efectuar a afinação do oscilador, que produz os intervalos para medição do tempo, existe outro cristal de quartzo cuja frequência própria de vibração se pode comparar com a frequência do oscilador. A medição dos tempos de propagação é feita contando o número de intervalos que medeiam entre o sinal emitido e o sinal recebido e interpolando as fracções do último intervalo por rotação dum potenciómetro graduado em décimos de micro-segundo.

Antes de realizar as medições na peça em ensaio, é necessário proceder à determinação do tempo de propagação em vazio, para o que se colocam em contacto as faces dos dois translatores.

Para facilitar a transmissão dos ultrasons, dum para outro dos translatores através dos materiais em estudo, coloca-se uma camada de óleo entre as superfícies em contacto. Nos casos em que não convém usar óleo, também é possível obter resultados satisfatórios com sabão, plasticina ou mesmo, sòmente, uma película de água.

A precisão obtida com a aparelhagem de que se dispõe é da ordem de 0,1 a 0,2 μ seg, o que se pode considerar como plenamente satisfatório. Para aumentar as espessuras que é possível atravessar e que no caso do betão estão limitadas, para os cristais actualmente usados, a cerca de 50 cm, estão em construção translatores de sais de Rochelle e de cerâmicas piezo-eléctricas com frequências próprias de vibração menores, que permitirão portanto alargar o âmbito de utilização desta aparelhagem.

Na fig. 5 apresenta-se o aspecto da imagem obtida na lâmpada de raios catódicos.

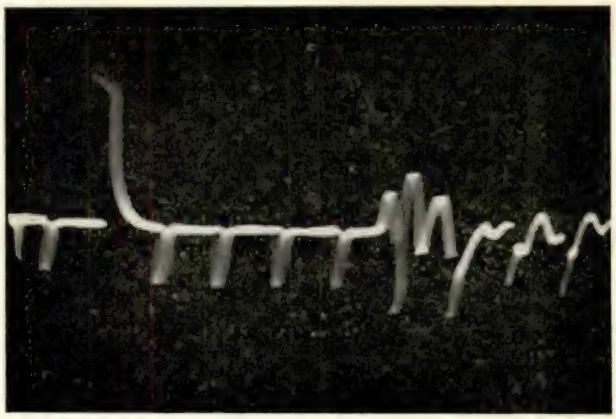


Fig. 5

Os intervalos inferiores servem para a medição do tempo de propagação; a distância entre traços consecutivos correspondente a intervalos de tempo de 10 μ seg. O sinal superior à esquerda, corresponde ao impulso que faz vibrar o transmissor; o sinal à direita, à vibração do receptor.

Na fig. 6 apresenta-se a imagem obtida no osciloscópio, relativa ao sinal recebido

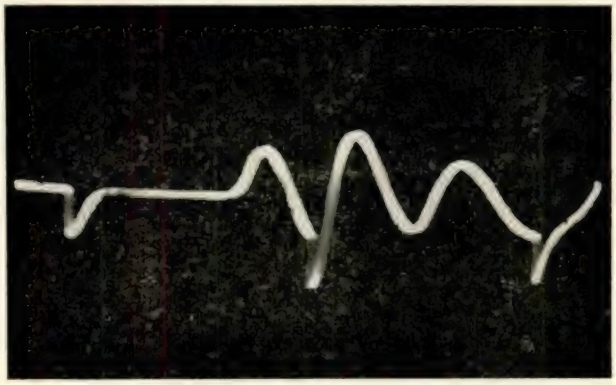


Fig. 6

quando se amplia o comprimento dos intervalos de 10 μ seg; esta ampliação permite

(1) Gatfield, E. M. — An Apparatus for Determining the Velocity of an Ultrasonic Pulse in Engineering Materials, Electronic Engineering, September, 1952.

efectuar com mais precisão a interpolação dentro dos referidos intervalos. Note-se que a fig. 6 foi obtida para uma medição realizada numa peça de betão o que justifica o adoçamento inicial da frente de onda. Este adoçamento é devido à heterogeneidade do betão.

O aparelho descrito permite a medição de tempos compreendidos entre fracções de μ seg e cerca de 300 μ seg.

Para a medição de tempos da ordem do milésimo de segundo ou superiores dispõe o Laboratório Nacional dum oscilógrafo de registo mecânico, de dois canais. Este oscilógrafo tem sido principalmente utilizado para estudo de vibrações de modelos e de protótipos.

Note-se que para estudos do tipo dos de prospecção sísmica é conveniente dispor de aparelhos de grande número de canais que permitam o registo simultâneo das indicações de numerosos geofones. O oscilógrafo existente no Laboratório não se adequa pois à realização de medições sistemáticas deste tipo.

6. Utilização dos ultrasons no estudo do betão

Os métodos não destrutivos, baseados na medição da frequência própria de vibração de provetes de betão, desde há cerca de 15 anos, vêm sendo empregados no estudo das propriedades mecânicas deste material. Em tais métodos os provetes podem ser obrigados a vibrar longitudinal ou transversalmente; por vezes, impõem-se também vibrações de torsão.

É possível relacionar, por expressões simples, a frequência própria de vibração dos provetos com o seu módulo de elasticidade e coeficiente de Poisson, o que permite, portanto, determinar estas constantes.

Este tipo de ensaio adapta-se bem à realização de estudos em laboratório e o seu emprego encontra-se muito generalizado. Nos Estados Unidos da América e na Grã-Bretanha, existem mesmo normas que especificam as técnicas de ensaio a utilizar (1) (2).

As primeiras sugestões para a determinação não destrutiva das propriedades mecânicas do betão em obra, pela medição de velocidades da propagação, foram apresentadas, em 1945, no «Journal of the American Concrete Institute» (3).

Durante os anos de 1946 e 1947, engenheiros da Hydro-Electric Power Comission of Ontario» desenvolveram um aparelho, que designaram por «soniscope», o qual permite determinar a velocidade de propagação de ondas ultrasonoras no betão (4). Pretendiam, pela utilização deste aparelho, substituir os métodos difíceis e dispendiosos de determinação da fendilhação, por métodos não destrutivos, fáceis de aplicar e com os quais fosse possível obter ideias de conjunto acerca do estado de conservação das obras.

Os translatores deste aparelho são de cristais de Rochelle, têm a frequência própria de vibração de 20 kC seg^{-1} e permitem efectuar medições em percursos que no máximo podem atingir cerca de 20 m. Como o aparelho foi especialmente estudado para ser usado em barragens, um dos translatores pode ser descido ao longo do paramento de montante e realizar a transmissão, mesmo mergulhado na albufeira.

Os estudos realizados com o «soniscope» permitiram concluir que com ele era possível, não só determinar a presença de fendas e a sua profundidade, como ainda medir o módulo de elasticidade dinâmico do betão com uma precisão plenamente satisfatória.

Desde logo os autores pensaram utilizar o método para o estudo da deterioração do betão tendo comparado, em peças sujeitas

(1) ASTM-C. 215-52 T-Tentative Method of Test for Fundamental Transverse and Torsional Frequencies of Concrete Specimens-American Society Testing Materials, Standards, Part 3, 1952.

(2) B. S. 1881:1942 — Methods of Testing Concrete, Bristish Standards Institution, London.

(3) Long, Kurtz and Sandenaw — An Instrument and a Tecnhique for Field Determination of the Modulus of Elasticity and Flexural Strength of Concrete (Pavements) A. C. I. Journal, Jan. 1945, Proc. V 41 pp. 217-231, Discussion p. p. 232-1-232-5.

(4) Leslie and Cheesman-An Ultrasonic Method of Studying Deterioration and Cracking in Concrete Structures-Journal of the American Concrete Institute, September 1949.

a ensaios de deterioração, os módulos de elasticidade dinâmicos obtidos pelo «soniscope» com os obtidos em ensaios de ressonância efectuados de acordo com a norma americana referida. Verificaram que os dois métodos conduziam a resultados aproximadamente iguais e com pequenas dispersões. Sugeriram também a utilização do seu aparelho para o estudo da deterioração de outros materiais e para a investigação da relação entre o módulo de elasticidade dinâmico e a resistência à compressão.

No laboratório de investigação de estradas da Grã-Bretanha, Road Research Laboratory, pensou-se inicialmente utilizar o método dos ultrasons para medir a espessura dos pavimentos do betão ([1]). Pretendia-se relacionar a espessura dos pavimentos com o tempo que um impulso ultrasonoro leva a propagar-se entre dois translatores colocados na superfície do pavimento. As principais dificuldades encontradas resultaram das ondas longitudinais transmitidas ao longo da superfície alcançarem o receptor antes das ondas reflectidas pela face inferior do pavimento. Os ensaios realizados mostraram, porém, que a velocidade de propagação de ondas ultrasonoras podia dar indicações sobre a qualidade do betão e que o método poderia ser utilizado, como um método não destrutivo, para o estudo das características mecânicas do betão em obra ([2]).

Explorando as possilidades de aplicação deste método ao betão, no Road Research Laboratory, estudou-se a influência, na velocidade de propagação, de vários parâmetros tais como: percentagem de vasios, relação água/cimento, idade do betão, resistência à compressão e flexão, acção do gelo e degelo, etc.

Durante os últimos anos tem continuado na Grã-Bretanha a realização de numerosas investigações em que se utiliza a aparelhagem estudada no Road Research Laboratory. A primeira série comercial de aparelhos deste tipo foi muito recentemente construída por uma firma especializada e hoje encontram-se já em funcionamento cerca de seis. O aparelho de que o Laboratório Nacional de Engenharia Civil dispõe, é também, como se disse, semelhante a estes.

Note-se que tanto o «soniscope» como o aparelho do Road Research Laboratory permitem realizar medições atravessando a massa do betão; pelo contrário, como o aparelho estudado na Dinamarca, no Instituto de Investigação da Construção ([1]) e ([2]), não é já possível atingir este objectivo, mas sòmente efectuar medições de propagação ao longo da superfície e entre dois translatores (pick-ups) pouco espaçados, no máximo cerca de um metro.

A utilização do aparelho dinamarquês mostrou-se contudo eficiente para determinar a deterioração de estruturas submetidas, num caso à acção do fogo e noutro caso à acção do gelo e degelo. Estudos realizados sobre pistas de aeródromos mostraram também que se o método permitia fàcilmente detectar a variação das propriedades do betão e a sua falta de homogeneidade.

Recentemente, em França, os métodos não destrutivos e em especial os métodos ultrasonoros têm sido largamente investigados nos Laboratórios do Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics. Estes laboratórios desenvolveram aparelhos de variados tipos; é de referir, pelo seu particular interesse, um aparelho em que as vibrações são obtidas por percussão mecânica e detectadas por um translator de magneto-estricção. A vantagem deste tipo de receptor reside no facto de funcionar direccionalmente e permitir distinguir as ondas longitudinais das transversais e das de

---

([1]) Jones — Measurement of the thickness of concrete pavements by dynamic methods: a survey of the difficulties — Magazine of Concrete Research, Number 1, January 1949.

([2]) Jones — The non destructive Testing of Concrete, Concrete Research, Number 2, June, 1949.

([1]) Andersen, Nerenst, Plum, Niels — The Non-destructive Testing of Concrete with Special Reference to the Wave Velocity Method, The Danish National Institute of Building Research, Building Research Report n.º 3, Copenhagen, 1950.

([2]) Andersen and Nerenst — Wave Velocity in Concrete, Journal of the American Concrete Institute, V 23, n.º 8, April, 1952.

Rayleigh [1]. Estes laboratórios têm também em funcionamento, além de montagens de determinação por ressonância do módulo de elasticidade, montagens para a medição do tempo de propagação, em que se utilizam translactores de cerâmica piezo-eléctrica, e ainda, aparelhos de percussão por explosivos.

Com esta diferente aparelhagem, foram realizadas experiências sistemáticas para averiguar a influência, tanto no módulo de elasticidade dinâmico, como no coeficiente de Poisson, dos seguintes factores: tipo de conservação do betão (no ar com higrometria bem definida, na água e alternadamente no ar e na água), idade e composição do betão, corrosão química, acção do gelo e degelo, destruição pelo fogo, etc. Procuraram também investigar as relações entre o módulo de elasticidade dinâmico e a resistência à compressão e à tracção.

A Reunião Internacional dos Laboratórios de Estudo e Ensaios de Materiais e Construções organizou, recentemente em Paris (Janeiro de 1954), um colóquio sobre o ensaio não destrutivo do betão, que muito contribuiu para a discussão e expansão destes métodos [2]. Neste colóquio participaram cerca de 150 representantes de 18 países e nele foram discutidos, além dos métodos ultrasonoros, métodos de determinação de dureza superficial e de ensaio por raios γ e neutrões.

As comunicações apresentadas mostraram a grande expansão dos métodos não destrutivos durante os últimos anos. De facto, tem-se conhecimento de que se encontram actualmente em funcionamento aparelhos para a medição de velocidade de propagação, destinados ao estudo de materiais de construção, nos seguintes países: Bélgica, Canadá, Dinamarca, Estados-Unidos, França, Grã-Bretanha, Holanda, Japão, Noruega e Potugal. Tratando-se duma técnica cujas primeiras tentativas foram realizadas há cerca de 8 anos, há que verificar que teve um desenvolvimento extraordinàriamente rápido.

As principais conclusões, que é possível extrair do colóquio em referência, são as seguintes:

— O módulo de elasticidade dinâmico, determinado a partir da velocidade de propagação de ondas ultrasonoras, constitui um parâmetro útil para caracterizar o betão; o mesmo sucede com o coeficiente de Poisson. Note-se que, para determinar o módulo de elasticidade dinâmico, E_d, basta conhecer a velocidade de propagação das ondas longitudinais e o peso específico do material (nesta determinação a influência do coeficiente de Poisson é pequena e é suficiente a precisão obtida por uma estimativa relativamente grosseira deste coeficiente). Para determinar o coeficiente de Poisson por métodos dinâmicos é necessário conhecer, além da velocidade de propagação de ondas longitudinais, a velocidade de propagação de ondas transversais ou de ondas de Rayleigh.

— Dispõe-se já de aparelhos suficientemente precisos (e a preço razoável) para realizar as determinações de velocidades de propagação de ondas ultrasonoras. Os recentes desenvolvimentos da electrónica têm-se reflectido directamente na concepção e aperfeiçoamento destes aparelhos.

— Para o betão, o módulo de elasticidade dinâmico parece não diferir muito do módulo de elasticidade estático determinado para tensões baixas e de pequena duração (para os metais, em face elástica, a diferença é mínima).

— Pela determinação, em numerosos pontos duma obra, do módulo de elasticidade dinâmico, é possível averiguar a homogeneidade do betão, o que tem incontestável valor para a caracterização estatística das suas propriedades mecânicas. Visto que os ensaios ultrasonoros são muito expeditos e económicos, é fácil realizar grande número de ensaios, os quais podem ser analisados estatìsticamente

— Sempre que interesse estudar a variação de propriedades, o método ultrasonoro é muito vantajoso. O facto do método não

(1) Dawance, Blanc et Chefdeville — L'Auscultation Dynamique du Beton, Bulletim RILEM n.º 15, Août, 1953.

(2) RILEM — Colloque International sur les Essais Non Destructifs du Béton, Paris, 11-13, Janvier, 1954 (existe na biblioteca do L. N. E. C. o resumo das comunicações apresentadas).

ser destrutivo permite acompanhar a evolução de cada peça nas diferentes idades; no caso da deterioração é até mesmo possível estudar o seu progresso da superfície para o interior.

— Actualmente o método ultrasonoro não permite a determinação precisa das tensões de rotura por compressão e tracção. Verifica-se, entretanto, que às maiores velocidades de propagação correspondem betões de melhor qualidade. Expressões da forma $E_d = K\,\sigma_r^{1/n}$, em que E_d é o módulo de elasticidade dinâmico, σ_r a tensão de rotura por compressão e K e n constantes, exprimem relativamente bem, a relação entre E_d e σ_r.

Para uma avaliação grosseira, podem utilizar-se as expressões:

$$E_d = 20.000\sqrt{\sigma_r} \text{ ou } E_d' = 50.000\sqrt[3]{\sigma_r}$$

em que E_d e σ_r são expressos em $kgcm^{-2}$. Desde que, para betões com os mesmos agregados, se determine experimentalmente a relação entre E_d e σ_r, é-se conduzido a uma relação bem definida que pode ser utilizada para previsões mais rigorosas de σ_r.

— O coeficiente de Poisson do betão, determinado em ensaios dinâmicos, tem valores em geral compreendidos entre 0,20 e 0,30; como valor mais frequente pode tomar-se 0,25.

— Pela determinação do tempo de propagação de impulsos ultrasonoros é possível detectar a fendilhação do betão; tal facto tem incontestável interesse para o estudo de vários tipos de obras e em especial de barragens.

O facto de se terem alcançado os resultados que se acabam de referir não significa que não seja necessário continuar a investir um esforço considerável no estudo de muitos problemas, que ainda estão em aberto ou em relação aos quais se não dispõe de elementos suficientemente esclarecedores.

Indicam-se algumas directrizes que convirá adoptar no prosseguimento destes estudos. Assim, seria conveniente: generalizar o emprego de aparelhos que permitissem a medição expedida não só da velocidade de propagação das ondas longitudinais mas também de ondas transversais e de Rayleigh; utilizar sistemàticamente, não só o módulo de elasticidade dinâmico mas também o coeficiente de Poisson, para a caracterização do betão; efectuar maior número de experiências para comparar o módulo de elasticidade dinâmico com o módulo de elasticidade estático; relacionar a dispersão das velocidades de propagação com a dispersão de outras propriedades mecânicas; estabelecer relações funcionais mais perfeitas entre o módulo de elasticidade dinâmico e a tensão de rotura por compressão e tracção; estudar a influência da existência de armaduras no interior do betão; etc.

7. Estudo da dispersão das propriedades mecânicas do betão

Para averiguar em que medida o método ultrasonoro permitia determinar a dispersão das propriedades mecânicas em peças de betão, foram realizados no Laboratório Nacional ensaios de dois tipos.

Nos primeiros ensaios procurou-se criar heterogeneidades de forma conhecida no seio da massa do betão e mediram-se as velocidades de propagação ao longo de diferentes direcções, atravessando ou não essas heterogeneidades.

Para os segundos ensaios utilizaram-se peças de betão moldadas pelo processo corrente, as quais foram depois subdivididas de forma a obter peças de menores dimensões que foram ensaiadas à compressão. Neste caso procedeu-se à medição da velocidade de propagação sobre as peças antes e depois de cortadas.

Nas figs. 7 e 8 indica-se a forma das peças utilizadas para a realização dos ensaios do primeiro tipo.

As peças da fig. 7 são constituídas por cubos de betão de 20 cm de aresta, rodeados por betão de qualidade diferente da do cubo, de forma a obter uma peça prismática de 20 cm de espessura e de 60 cm de lado. Na mesma figura indicam-se as velocidades de propagação medidas.

É bem patente a variação da velocidade de propagação entre as zonas em que o betão varia de qualidade. Note-se que, quando os translatores são colocados na

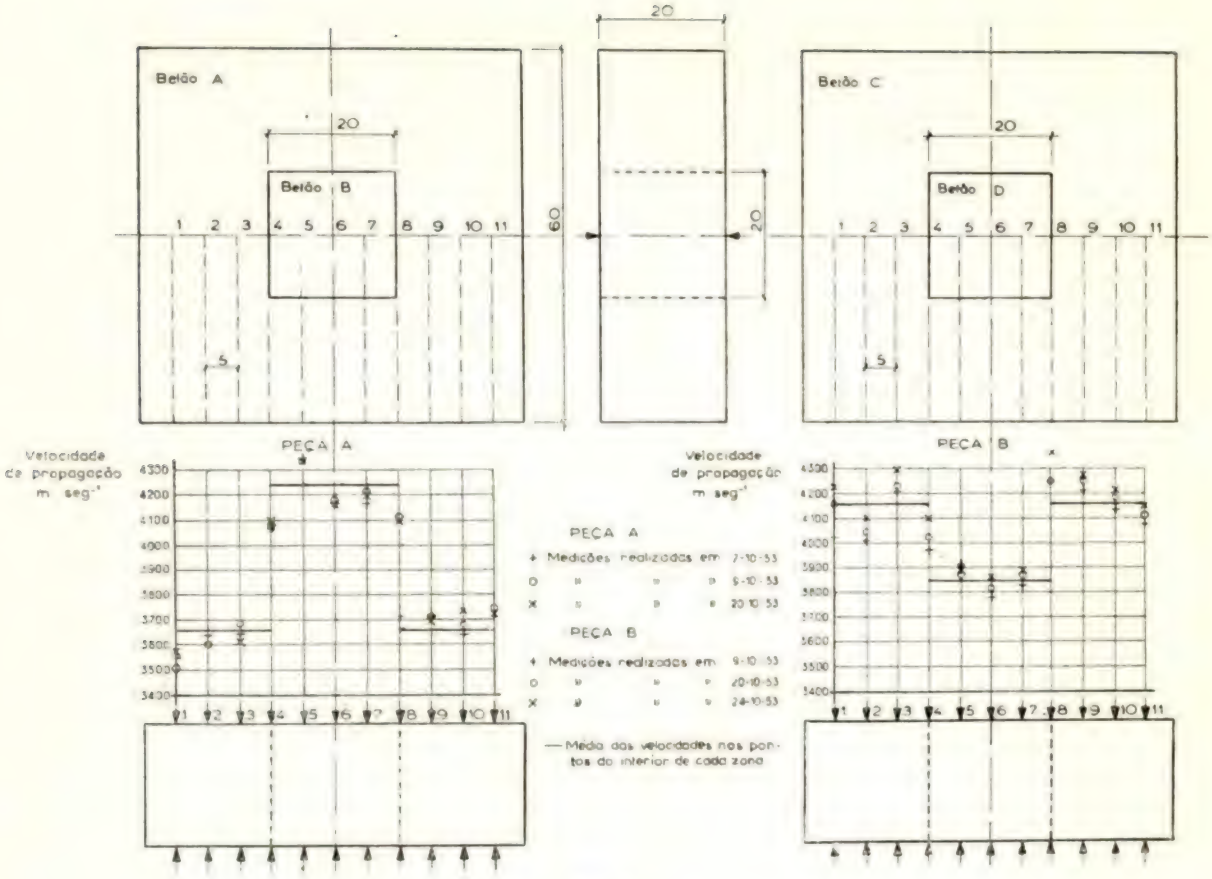

Betão A
Betão B
Betão C
Betão D
20
60
5
PEÇA A
PEÇA B
Velocidade de propagação m seg⁻¹
PEÇA A
+ Medições realizadas em 7-10-53
o " " " 9-10-53
x " " " 20-10-53
PEÇA B
+ Medições realizadas em 9-10-53
o " " " 20-10-53
x " " " 24-10-53
— Média das velocidades nos pontos do interior de cada zona

Fig. 7

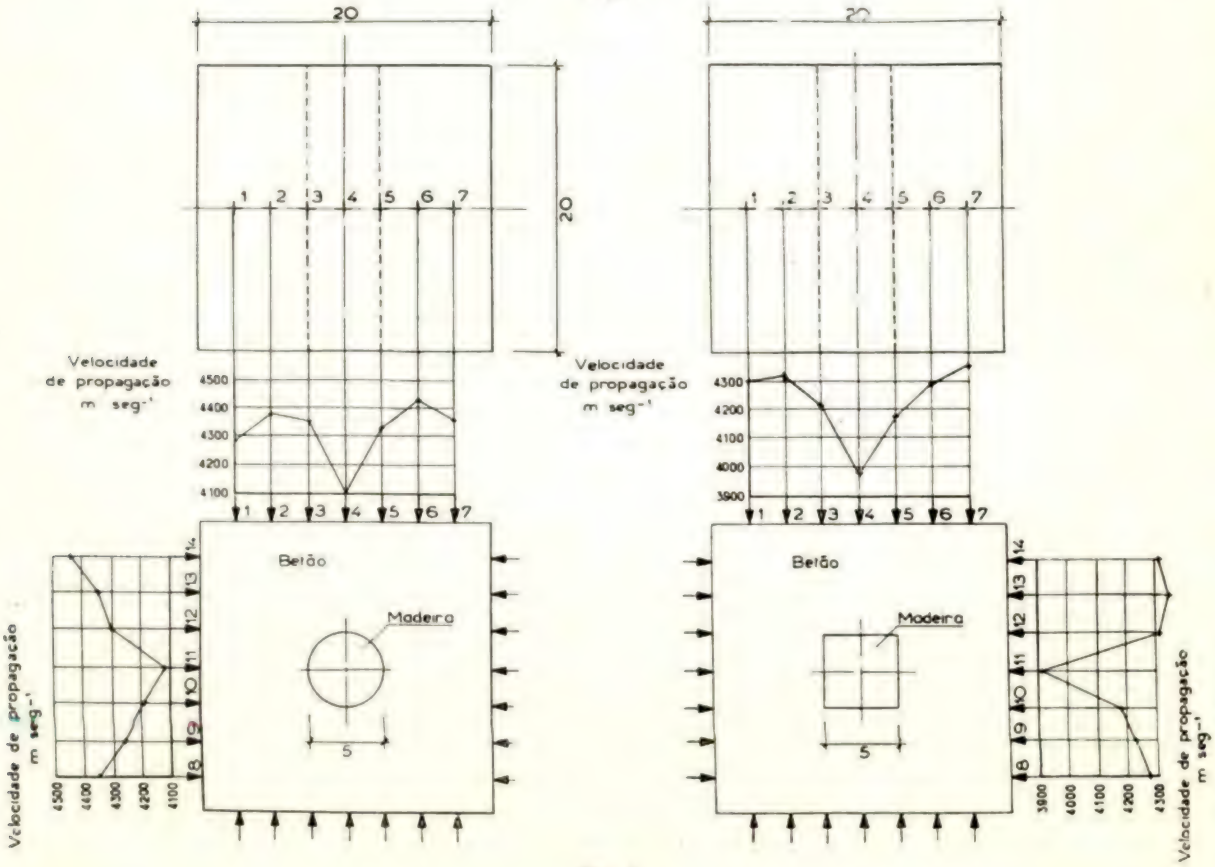

20
Velocidade de propagação m seg⁻¹
Betão
Madeira
5

Fig. 8

zona de transição, a velocidade de propagação é a correspondente à do betão de melhor qualidade e que, quando os translatores se deslocam 5 cm da zona de transição, a velocidade passa já a ser idêntica à do betão da zona correspondente. Conclui-se assim que, para esta espessura de atravessamento, não influi sobre a medição da velocidade a qualidade do betão exterior a um cilindro de cerca de 10 cm de diâmetro cujo eixo coincida com o eixo dos translatores.

Na fig. 8 apresenta-se a variação da velocidade de propagação em peças cúbicas que na região central tinham heterogeneidades, de forma cilíndrica num caso e de forma prismática noutro, constituídas por um material diferente.

Pela análise destas figuras, verifica-se que o método ultrasonoro permite detectar fàcilmente a existência de heterogeneidades.

Medições realizadas numa viga de betão de $20 \times 30 \times 220$ cm, fig. 9, em pontos à distância de 10 cm, mostraram que as velocidades de propagação variavam de ponto para ponto. Calculado o valor médio das velocidades de propagação a distâncias de 5, 15 e 25 cm da face superior, verificou-se que o valor médio da velocidade aumentava, à medida que se consideravam pontos a maior distância dessa face, passando de 4.230 para 4.250 e para 4.280 m seg^{-1}.

Esta viga foi posteriormente cortada para dela extrair prismas de $10 \times 10 \times 30$ cm. Na fig. 10 comparam-se as medições efectuadas antes e depois da realização do corte. A diferença entre as velocidades médias (4.320 e 4.440 m seg^{-1}), obtidas antes e depois do corte, poderá em parte ser justificada pela evolução das propriedades mecânicas do betão com o tempo (as medições foram realizadas com o intervalo de 8 dias).

Note-se que o coeficiente de variação correspondente às velocidades de propagação medidas na viga (1,5 %) é muito inferior ao coeficiente de variação obtido para os prismas (3,2 %) o que evidencia o carácter aleatório da variação das velocidades de propagação de ponto para ponto.

Na fig. 11 apresenta-se o resultado de medições realizadas entre pontos à distância de 2,5 cm. Neste caso as velocidades de propagação apresentam uma variação contínua quando se passa dum ponto ao seguinte. Tal facto pode ser explicado admitindo que ao realizar medições numa espessura de

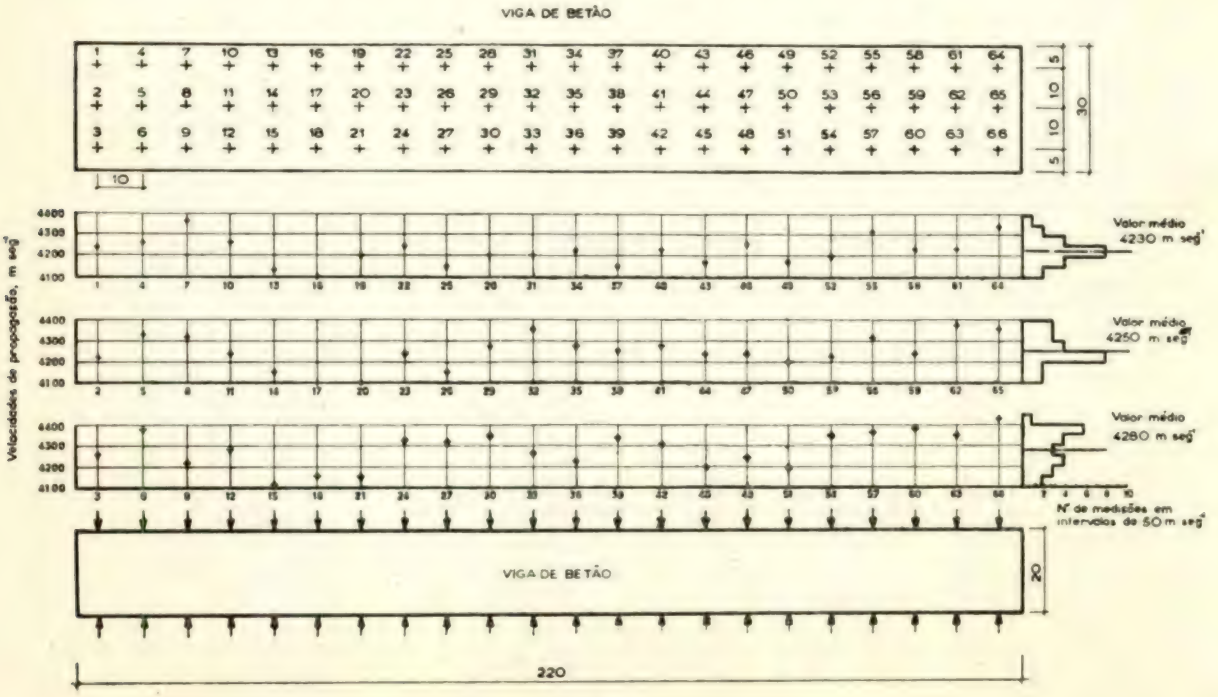


Fig. 9

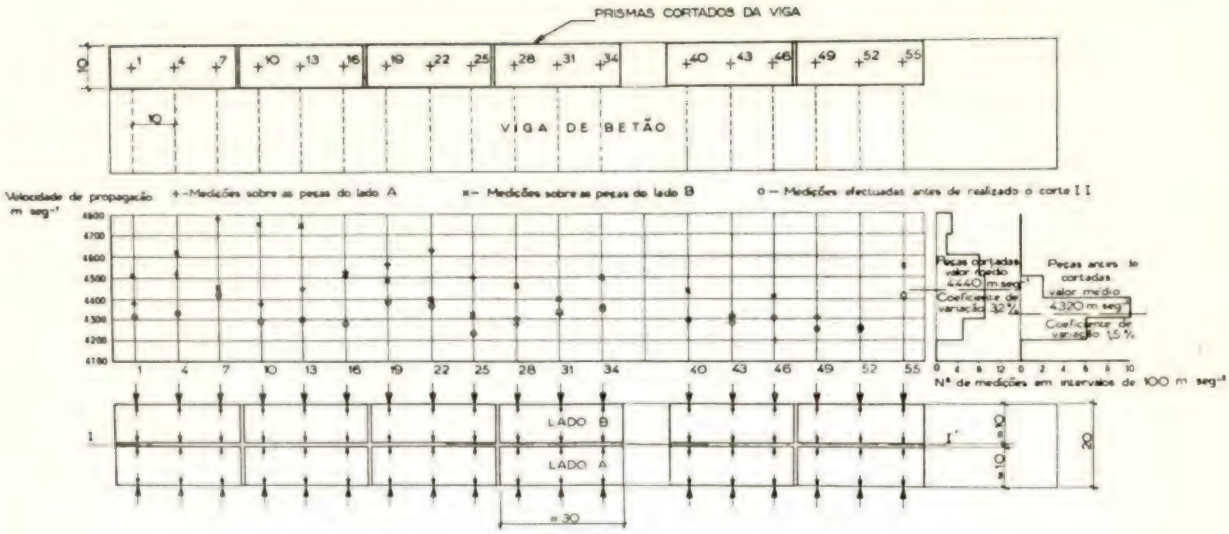

PRISMAS CORTADOS DA VIGA
VIGA DE BETÃO
Velocidade de propagação m seg⁻¹
+ - Medições sobre as peças do lado A
x - Medições sobre as peças do lado B
o - Medições efectuadas antes de realizado o corte I I
Peças cortadas valor médio 4440 m seg⁻¹
Coeficiente de variação 3,2 %
Peças antes de cortadas valor médio 4320 m seg⁻¹
Coeficiente de variação 1,5 %
Nº de medições em intervalos de 100 m seg⁻¹
LADO B
LADO A
≈ 30

Fig. 10

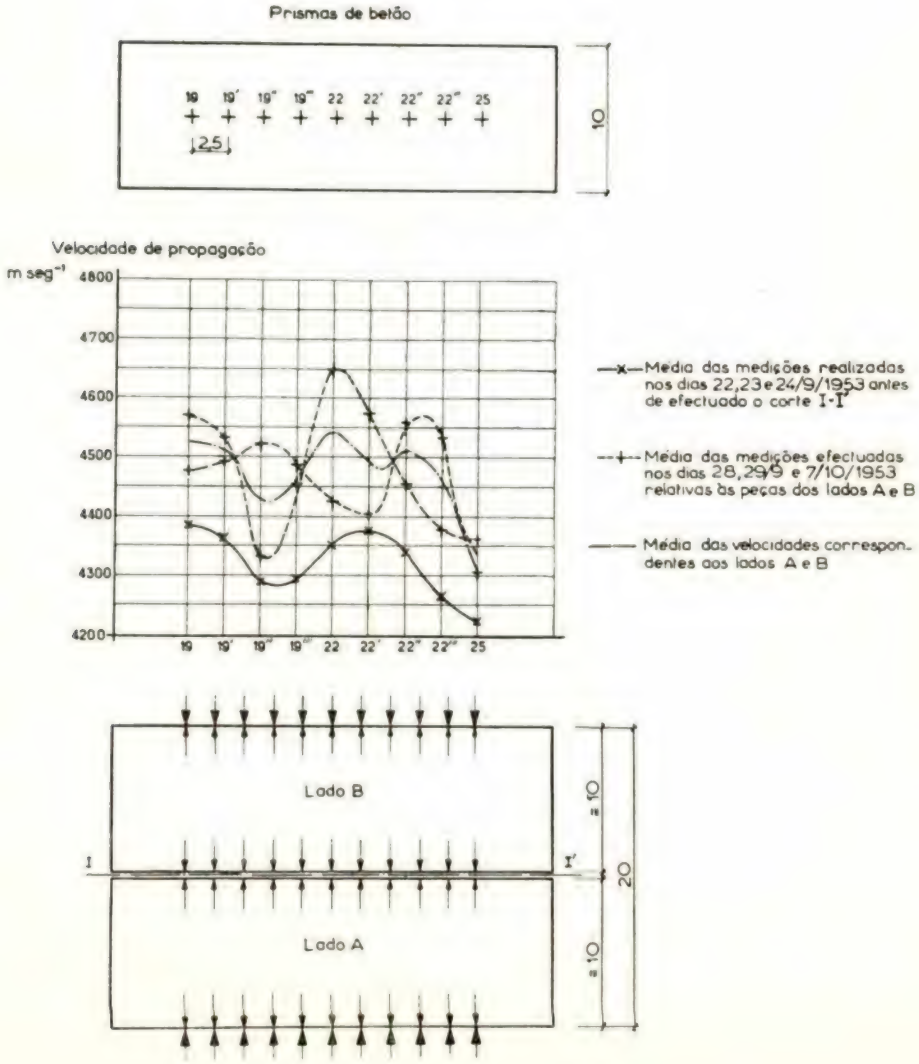

Prismas de betão
Velocidade de propagação
m seg⁻¹
—x— Média das medições realizadas nos dias 22,23 e 24/9/1953 antes de efectuado o corte I-I'
--+-- Média das medições efectuadas nos dias 28,29/9 e 7/10/1953 relativas às peças dos lados A e B
—— Média das velocidades correspondentes aos lados A e B
Lado B
Lado A

Fig. 11

20 cm, o volume interessado é o correspondente a um cilindro de cerca de 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura. Só para volumes superiores a este será possível considerar a variação como aleatória. A realização de estudos estatísticos de aleatoriedade permitirá esclarecer melhor quais os volumes mínimos para os quais se pode considerar que as propriedades mecânicas, ao passar dum volume ao seguinte, variam aleatòriamente e não com continuidade.

Analizando a fig. 11 verifica-se ainda que, calculadas as médias das velocidades de propagação correspondentes aos lados A e B e ao longo duma mesma direcção, se obtém para estas velocidades médias uma variação análoga à variação obtida antes de efectuado o corte I I. A translacção entre as duas curvas poderá ser justificada pela diferença de idade do betão entre as datas em que se efectuaram as medições.

8. Utilização dos ultrasons no estudo de outros materiais

Entre as primeiras utilizações técnicas dos ultrasons para o estudo de outros materiais além do betão, há que referir a determinação das constantes elásticas do vidro. Para a realização destes ensaios Bergmann ([1]) e outros utilizaram feixes de luz monocromática e estudaram a interferência provocada pelo atravessamento de cubos de vidro sujeitos a vibrações ultrasonoras ([1]). Bergmann apresenta, também, numerosos resultados de medição da velocidade de propagação em vários outros materiais.

Nos Estados Unidos, o método tem sido utilizado para o estudo das propriedades mecânicas de fibras téxteis, plásticos, borrachas, etc. Desde 1948, que se fabrica comercialmente um aparelho especialmente destinado a medir a velocidade de propagação ([2]) nestes materiais. Referem os seus fabricantes que este aparelho tem sido utilizado não só para o contrôle de fabrico, nas indústrias químicas, mas ainda para o estudo das propriedades de vários materiais.

Na resolução de problemas concretos de engenharia civil há que referir, pela sua especial importância, a aplicação deste método ao estudo de rochas de fundações de barragens. Estes estudos têm tido recentemente largo incremento na Suíça, Suécia, Itália e França. Acerca dos trabalhos realizados na Suíça veja-se a recente publicação de Süsstrunk ([1]). Na Suécia, em 1948, o método de prospecção sísmica tinha já sido utilizado em 72 estudos relativos a aproveitamentos hidro-eléctricos ([2]). Os estudos realizados em Itália, ainda não publicados, foram efectuados por Oberti nos terrenos de fundação da barragem de Piave di Cadore e de outras barragens italianas.

No estudo de tunéis e galerias o método sísmico é também muito útil. Além dos numerosos trabalhos realizados na Suécia, há que referir estudos recentes realizados pela Electricité de France e também em Espanha por Fernandez Bollo ([3]).

No recente colóquio realizado em Paris acerca dos métodos ultrasonoros, Dawance apresentou resultados de medições realizados em túneis pelas quais verificou a dependência entre as velocidades de propagação e os estados de tensão a que ficaram submetidas as rochas depois de se ter praticado a abertura de galerias.

Para a prospecção de água, o método sísmico, combinado com o método de medição de resistividades, permite também obter elementos de grande interesse ([4]). A medição da velocidade de propagação de ondas ultrasonoras foi recentemente utilizada para

([1]) Bergmann, L. — Obra citada.

([2]) The Pulse Propagation Meter — The Magnetic Amplifier Corp., 4 Gordon Street Waltham, Mass., 1948.

([1]) Süsstrunk, A. — Les Procédés Sismiques appliqués à l'étude du sous-sol en Suisse. Comptes Rendus du 3ème Congrès de Mecanique des Sols et des Travaux de Fondation, Vol. I, 1953.

([2]) The Seismic Method for Dam Site and Tunne Investigation, Hasse W. Tullberg, Stockholm, 1948.

([3]) Fernandez Bollo, M. — Prospeccion Elástica, Revista de Obras Públicas, Enero, Abril, 1951; Marzo, 1952.

([4]) Breusse — L'Application des Methodes Geophysiques à la Recherche de L'Eau — La Technique Sanitaire et Municipale, Paris, Février, 1952.

o estudo do revestimento betuminoso duma barragem de enrocamento ([3]).

No Laboratório Nacional de Engenharia Civil estão sendo realizados ensaios para estudo por métodos não destrutivos das propriedades mecânicas do aço. Pretende-se com estes ensaios esclarecer se o método ultrasonoro permite classificar os aços de fabricação antiga de acordo com a sua resistência mecânica e ainda distingui-los dos aços de fabricação moderna. O método poderia assim ser utilizado para alargar a amostragem das propriedades mecânicas dos materiais que constituem algumas pontes metálicas, actualmente em estudo.

Ensaios preliminares mostraram que o método podia ser utilizado para estudar a deterioração de amostras de xisto. Este problema está relacionado com o emprego deste material na construção de barragens de terra.

O método ultrasonoro poderá também ser utilizado com sucesso no estudo das propriedades mecânicas dos materiais empregados na construção de modelos.

([3]) Essais non destructifs de béton betumineux. Service de la Colonisation et de l'Hydraulique. Colloque sur l'essai non destructif du béton. Resumé n.º 39, Paris, 1954.

Conference Internationale des Grands Réseaux Électriques

C. I. G. R. E.

Realiza-se em Paris, de 12 a 22 de Maio, a 15.ª Sessão da Conference Internationale des Grands Réseaux Électriques, que vem organizando Congressos idênticos desde 1921, reunindo neles electrotécnicos de todos os países, com o objectivo de difundir o progresso da técnica das grandes redes de alta tensão.

Esta Sessão interessa a todos aqueles que consagram a sua actividade à construção de material eléctrico, à construção das grandes redes, e ainda à produção e distribuição de energia eléctrica.

O programa dos trabalhos está dividido em 4 secções:

1.º) Produção, transformação e corte de corrente.

2.º) Construção, isolamento e manutenção das linhas aéreas e subterrâneas.

3.º) Exploração, protecção e interligação das redes.

4.º) Tensões superiores a 220 kV.

As línguas utilizadas nestas Secções, serão o inglês e o francês.

As inscrições, e quaisquer outros esclarecimentos, podem ser dirigidos ao Agrupamento Português da C. I. G. R. E., Rua Vítor Cordon, Lisboa.

GOODYEAR

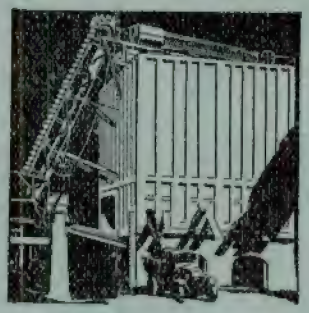
UMA QUALIDADE ESPECIAL PARA CADA SERVIÇO DISTINTO

MANGUEIRAS

para:

Acetilene
Ácidos e suas soluções
Água — Aquecimento
Ar — Aviação
Caminhos de ferro
Cerveja e vinhos
Dissolventes — Destilações
Fábricas de papel
Ferramentas pneumáticas
Gases — Gasolina
Lavagem de automóveis
Minas — Óleos — Oxigénio
Petróleo — Refrigeração
Produtos químicos
Serviços agrícolas
» de dragas
» de incêndios
» de jardins
» de regas
» sanitários
Soldagem — Vapor
Tintas — Lacas — Vernizes
etc., etc., etc.

Todos os líquidos
Todos os gases



CORREIAS

para:

Agricultura
Altas velocidades
Elevação de materiais
Grandes potências
Indústria em geral
Indústria têxtil
Serviços de minas
Transmissões difíceis
Transporte de materiais

CORREÕES SEM-FIM
THOR
para debulha e tractores

CORREIAS SEM-FIM
COMPASS
inextensíveis, para centrais
e pequenos tambores

CORREIAS MÚLTIPLAS
TRAPEZOIDAIS
etc., etc., etc.

Todas as velocidades
Todas as potências

PARA TODAS AS PRESSÕES E TODAS AS TEMPERATURAS

Distribuidores Exclusivos: **CANELAS & FIGUEIREDO, L.DA**

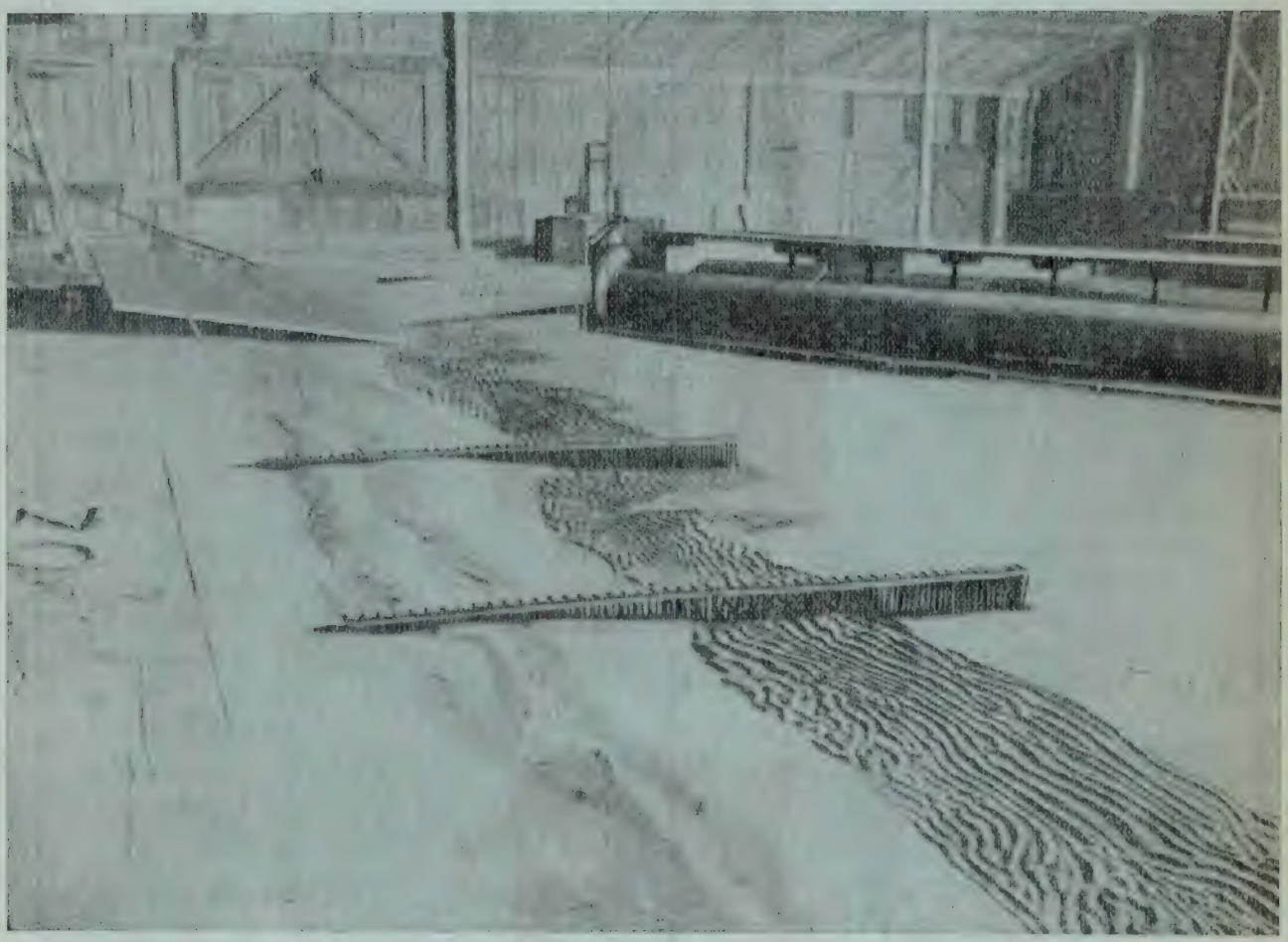
Telef.: 2 5058 / 2 4502 / 2 1729 — **Rua dos Fanqueiros, 46 — LISBOA** — Teleg.: **CANELASCO**

LABORATOIRE DAUPHINOIS D'HYDRAULIQUE

GRENOBLE

HIDRÁULICA FLUVIAL E MARÍTIMA — QUEDA DE AGUA

Determinação económica das obras — Desassoreamentos
Aproveitamento dos rios — Eclusas
Utilização da energia das marés
Estudos de portos, de ancoradoiros — Docas secas
Protecção do litoral — Estabilidade das praias



Salinas de Giraud

Modelo reduzido para o estudo da defesa da costa contra o mar

EM PORTUGAL:

LABORATÓRIO DE HIDRÁULICA
NA AMADORA

"NEYRPIC"

R. Vice-Almirante João António de Azevedo Coutinho

AMADORA Telef. VENDA NOVA 48

C. D. 531.781.2.082.7

EXTENSÓMETROS ELÉCTRICOS DE RESISTÊNCIA

DESCRIÇÃO E TÉCNICA DE MEDIDA

PELO ENG.º CIVIL J. F. LOBO FIALHO
Assistente do Laboratório Nacional de Engenharia Civil

NOTAÇÕES

Comprimentos	L
Áreas	S
Volumes	V
Extensões	ε
Distorções	γ
Tensões Normais	σ
Tensões Tangenciais	τ
Módulo de Elasticidade Longitudinal	E
Módulo de Elasticidade Transversal	G
Coeficiente de Poisson	ν
Resistência eléctrica (genérica)	R
Resistividade	ρ
Temperatura	θ

1. Princípio

O princípio em que se baseiam os extensómetros eléctricos de resistência é conhecido desde meados do Sec. XIX. Sir Wiliam Thompson, (Lord Kelvin) a quem se atribui a descoberta do fenómeno, relatou-o com dados científicos em 1856 nos «Mathematics and Phisical Papers» Vol. II — pág. 303 a 305. Segundo o autor, quando se põem sob tensão fios de cobre ou ferro, a sua resistência varia com a tensão aplicada. Efectuando medições de variação de resistência com delicadas «pontes Wheatstone», Lord Kelvin concluiu ainda, que a resistência dum fio metálico aumenta com a tensão de tracção aplicada, sendo este aumento maior para os fios de ferro que para os fios de cobre.

Apesar de tão antigo, este princípio só recentemente pode ser aplicado na medição de extensões (deformações unitárias $\varepsilon = \frac{\Delta L}{L}$), graças ao advento da electrónica, que permitiu avaliar com precisão, variações de resistência da ordem de 10^{-4} Ohm.

Em 1917 Bridgman utilizou este princípio numas células destinadas a medir a pressão hidrostática e em 1930 M. Carlson construia o primeiro extensómetro de resistência de filamento, destinado a ser embebido em monolitos de betão.

O extensómetro eléctrico de resistência, tal como é hoje vendido por numerosas casas comerciais, foi estudado nos E. U. A. durante a 2.ª guerra mundial.

A necessidade de construir ràpidamente estruturas e orgãos de máquinas com o mínimo de material e o máximo de resistência, obrigava a ensaiar esses elementos sob as mais variadas condições de solicitação. Os extensómetros, se bem que numerosos, não eram cómodos nem tinham aplicação na maioria dos casos e a técnica de medida dos estados de extensão, foi mais uma vez posta à prova. Vários investigadores procuraram a forma prática de aplicar o princípio de variação de resistência atrás enunciado, à construção de extensómetros. Trabalharam no assunto entre outros MM. Clark, Dätwykr, Ruge, de Forest, etc., mas o impulso definitivo foi dado por E. E. Simons, do Instituto de Tecnologia de Califórnia que descobriu através de ensaios sistemáticos a forma simples e prática de fixar o fio sensível ao elemento a ensaiar.

Faltava apenas divulgar o método e fabricar a aparelhagem complementar, de alta sensibilidade, destinada a medir as pequenas variações de resistência do fio sensível. Disto se encarregou a Baldwin Locomotive Works que comprou a patente de Simons e a lançou no mercado sob o nome comercial de extensómetros SR-4.

Hoje numerosas casas fabricam extensómetros eléctricos de resistência, cuja venda se conta por centenas de milhares de uni-

dades por ano. O seu emprego generalizou-se a todos os sectores da determinação experimental de tensões, permitindo resolver muitos problemas delicados, tais como o da análise do estado de tensão numa hélice a milhares de rotações por minuto ou os esforços num trem de avião no momento de aterragem.

2. Descrição

Reduzido aos seus elementos essenciais, um extensómetro eléctrico de filamento resistente, consta de uma grade de fio metálico sensível, ligado a uma base que se cola à peça que se pretende ensaiar. Nos extensómetros mais pequenos, as dimensões do conjunto são inferiores a um selo postal, não necessitando o extensómetro mais do que uma boa colagem para se considerar montado.

As dimensões da base e da grade devem ser tais que o fio sensível acompanhe sem rigidez as deformações do elemento a que está colado. Por esta razão, as dimensões da base e da grade estão intimamente ligadas em cada tipo de extensómetro. Nas extremidades do fio sensível estão soldados dois outros de maior diâmetro que constituem os elementos de ligações do extensómetro ao circuito de medida.

3. Montagem

A montagem destes extensómetros efectua-se por colagem. O local onde se pretende determinar o «estado de extensão», é convenientemente limpo, devendo remover-se com qualquer dissolvente toda a gordura existente. Se a superfície de aplicação está polida, deve esfregar-se o local de aplicação

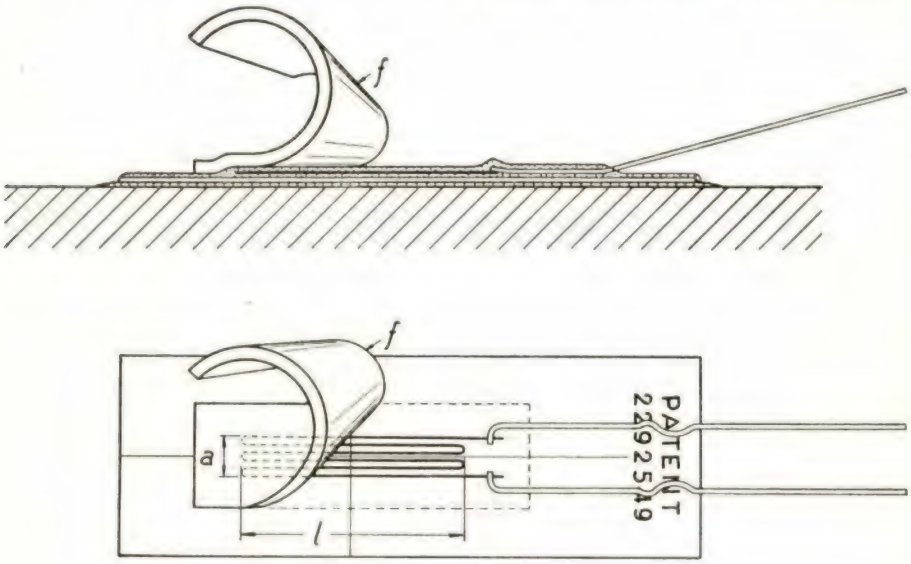


Fig. 1

O fio sensível, tem na maioria dos extensómetros um diâmetro aproximado de 0,001 mm e é constituído por ligas metálicas especiais, tais como: Constantan, Nicrome, Nanganin, etc. A grade fica embebida entre duas folhas de papel ou dentro duma fina película de plástico, havendo alguns tipos de extensómetros em que dum lado fica uma folha de papel que serve de base de colagem e no outro um rectângulo de feltro protector (fig. 1).

com lixa ou papel de esmeril, para criar uma ligeira rugosidade fovorável à colagem.

Quanto ao tipo de colagem distinguem-se dois tipos de extensómetros:

a) Aqueles que utilizam colas nitro-celulósicos ex.º: cola «Duco».

Nestes, a montagem efectua-se por secagem da cola ao ar à temperatura ordinária durante um período de tempo nunca inferior a 24 horas. Para ensaios de longa duração é preferível adoptar 48 horas.

b) Aqueles que utilizam colas termorreativas ex.º: resinas fenólicas.

Nestes, a montagem efectua-se por polimerização da resina entre temperaturas de 60° a 120°C durante 4 a 5 horas.

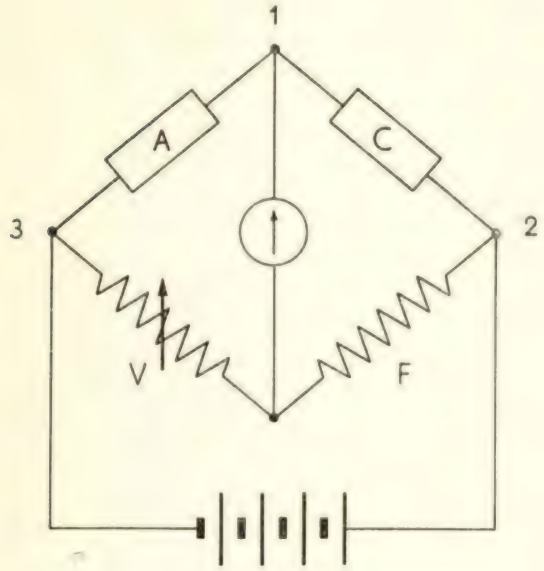


Fig. 2

A montagem dos primeiros é mais cómoda, mas em compensação só pode ser utilizada em ensaios que decorram a baixas temperaturas (até 80°C), pois, sendo as colas nitro-celulósicas termoplásticas, perdem as suas propriedades adesivas a elevadas temperaturas, deixando o extensómetro de acompanhar a peça na sua deformação.

Depois de colado, o extensómetro deverá ser impermeabilizado com qualquer produto de confiança (cera, parafina, etc.), pois a humidade como se verá adiante, altera a estabilidade de funcionamento dos extensómetros eléctricos de filamento resistente.

A medição da variação de resistência é feita com aparelhos de grande precisão baseados no método de zero conhecido por «Ponte Wheatstone». O extensómetro colado ao elemento em estudo — extensómetro activo A — fig. 2 é ligado por forma a constituir um dos braços da ponte. Um outro extensómetro idêntico, forma o outro braço da ponte — *extensómetro compensador C* — o qual deve ser mantido nas mesmas condições de temperatura do extensómetro activo, para que corrija automàticamente as variações de resistência devidas a variações da temperatura ambiente. Completam os braços da ponte uma resistência fixa *F* e uma resistência variável *V*.

Quando se atinge o equilíbrio da ponte tem-se:

$$A = C \frac{V}{F}$$

Vê-se assim, que com duas leituras sucessivas, uma antes da peça carregada, outra depois, se determina fàcilmente a variação de resistência do extensómetro activo A.

Existem numerosas variantes da ponte Wheatstone, todas elas baseadas no circuito elementar atrás descrito, mas bastante mais complexas no conjunto, como teremos oportunidade de tratar ao descrevermos a aparelhagem complementar dos extensómetros de resistência.

As ligações das extremidades dos extensómetros ao circuito de medida devem ser

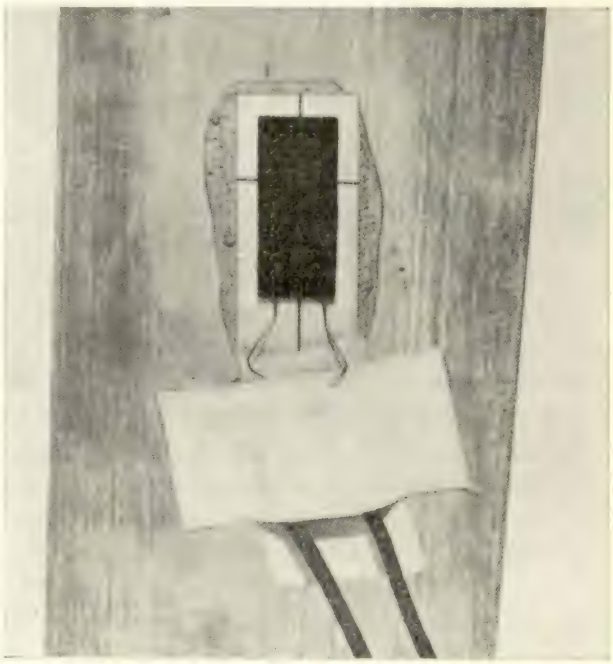


Fig. 3

feitas por meio de soldadura, devendo fazer-se esta operação com todo o cuidado para que o contacto seja perfeito. É aconselhável, fixar os fios de saída a uma certa distância da soldadura, mantendo-os bambos naquele intervalo, fig. 3, para evitar

o repuxamento dos fios de ligação da grade sensível, que é uma das causas de perturbação mais frequentes.

Existem numerosas técnicas de montagem algumas delas bastante interessantes, como por exemplo, a que é descrita no Vol. III pág. 7 881 do P. S. A. em que as ligações são feitas por intermédio de pequenas cuvas de mercúrio onde mergulham as extremidades do extensómetro e do circuito de medida.

Em qualquer técnica de montagem, deve observar-se as instruções do fabricante do extensómetro, tendo sempre presente que o segredo dum proveitoso ensaio com extensómetros eléctricos de filamento, reside na sua montagem.

4. Estabilidade

Como qualquer instrumento de medida, deve procurar-se que o extensómetro eléctrico de resistência seja estável dentro dos limites de utilização e que volte ao «zero» uma vez que regressem as condições iniciais do ensaio. Esta estabilidade de funcionamento é conseguida desde que se tomem todas as precauções na montagem e se adoptem disposições especiais para anular as principais causas de instabilidade.

a) *Influência de temperatura* — Dentro dos limites de utilização duma cola e abstraindo as tensões térmicas desenvolvidas no elemento ao qual o extensómetro está colado, a temperatura altera a estabilidade dos extensómetros por virtude da variação da resistência específica do fio sensível. Com efeito seja $R = \rho\, L/S$ a resistência do filamento de comprimento L e secção S à temperatura θ, α o seu coeficiente de dilatação térmica linear e β o coeficiente de variação da resistividade ρ com a temperatura. A resistência R' quando a temperatura variar de $\Delta\theta$ será

$$R' = \rho\,(1 + \beta\Delta\theta)\ \frac{L(1+\alpha\Delta\theta)}{S(1+\alpha\Delta\theta)^2} = R\,[1 + \gamma\Delta\theta]$$

Experiências efectuadas pelo N. B. S. com diferentes tipos de extensómetros SR-4 entre as temperaturas de $-73°C$ e $+93°C$ mostraram que o coeficiente de variação de resistência $\gamma = \dfrac{\Delta R/R}{\Delta\theta}$ não é constante, podendo ser positivo para determinadas temperaturas e negativo para outras.

Na fig. 4, está traçada a curva característica dum extensómetro do tipo A-1. Para o Constantan o valor de γ varia entre -50×10^{-6} a $+30 \times 10^{-6}\ °C^{-1}$.

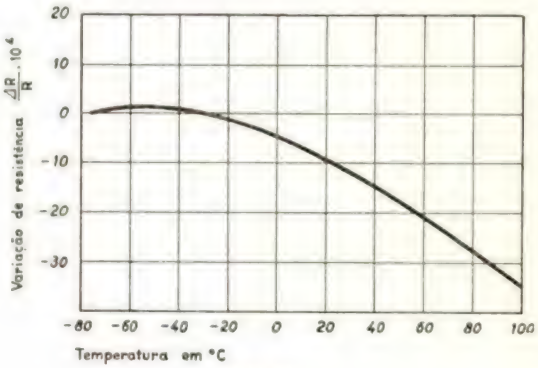


Fig. 4

Sendo porém sensìvelmente iguais os coeficientes térmicos de dois extensómetros do mesmo tipo, o método de medida por ponte, que atrás se indicou, permite compensar automàticamente os erros devido a variações de temperatura. Adoptando este dispositivo, os erros devidos a imperfeições na compensação não excedem $\gamma = 5 \times 10^{-6}\ °C^{-1}$.

b) *Humidade* — A humidade altera a estabilidade dos extensómetros eléctricos, tendo particular influência nas colagens nitro-celulósicas tipo «Duco». Com efeito em presença da humidade, o acetato de celulose que é higroscópio, aumenta de volume, alterando-se o zero e podendo mesmo desligar-se o extensómetro da superfície a que está colado. No meio húmido criado, produzem-se fenómenos electrolíticos que corroem o fio sensível, aumentando-lhes a resistência. Por outro lado, a humidade faz diminuir a resistência de isolamento da grade à terra estabelecendo-se correntes de fuga que falseiam completamente as medições efectuadas. Todos estes factos mostram a necessidade de adoptar disposições especiais que garantam uma perfeita impermea-

bilização do extensómetro. Os fabricantes nos seus catálogos, indicam as regras e os produtos mais convenientes para se obter uma boa impermeabilização. Entre outros produtos, temos usado com sucesso, a cera animal e a vaselina. Estes devem cobrir completamente o extensómetro para se obter uma impermeabilização eficaz.

c) *Variações de zero* — Quando se submetem os extensómetros a grandes deformações dão-se alterações de zero que para os SR-4 colados com cola «Duco» foram avaliados em 25×10^{-6} a 35×10^{-6} para extensões da ordem de 2.400×10^{-6} (SR-4 N. L. Vol. II n.º 7). Estas variações de zero, diminuem no 2.º ciclo de carga podendo mesmo anular-se ao fim dum certo número de ciclos de carga. É portanto boa técnica de medida, efectuar repetidos ciclos de carga e tirar a média dos últimos valores obtidos.

Sob tensão constante, constatam-se fenómenos de fluência plástica das colas, que para os extensómetros SR-4 colados com cola «Duco» foram avaliados em 35×10^{-6} no primeiro mês para uma extensão de 2.400×10^{-6}, 75 % corresponderam às primeiras 24 horas (SR-4 N. L.). O valor da fluência plástica das colas termorreactivas, polimerizáveis pelo calor, é consideràvelmente mais baixo.

5. Características

As características fundamentais dum extensómetro eléctrico são:

a) *Sensibilidade* (Gage factor) — É a variação de resistência unitária $\Delta R/R$ correspondente a uma variação de extensão $\frac{\Delta L}{L}$ igual à unidade. É portanto definido pela expressão

$$\lambda = \frac{\Delta R/R}{\Delta L/L} \quad \ldots\ldots \quad (1)$$

O valor da sensibilidade dum extensómetro é indicado pelo construtor, sendo obtido experimentalmente colando o extensómetro numa lâmina de aço de aferição e submetendo-o à flexão circular. Neste ensaio determina-se a sensibilidade e a curva da variação de resistência com a extensão. Como nesta operação se perdem por vezes extensómetros, alguns fabricantes costumam aferir apenas um em cada lote de 10 extensómetros, indicando-se o valor obtido no envelope onde se introduzem os outros 9 não aferidos. O valor da sensibilidade varia com a natureza do fio sensível e o tipo de grade, entre os limites compreendidos entre 1,5 e 3,5.

Teòricamente é possível calcular o valor da sensibilidade em função da deformação da grade. Suponhamos um fio de comprimento L, secção S e resistência R, grandezas que como se sabe estão ligadas pela expressão:

$$R = \rho \frac{L}{S} \quad \ldots\ldots \quad (2)$$

Supondo ρ constante para uma variação dL de comprimento tem-se diferenciado a expressão anterior:

$$dR = \frac{\rho\,(S\,dL - L\,dS)}{S^2}$$

dividindo ambos os membros por $R = \rho \frac{L}{S}$

tem-se $$\frac{dR}{R} = \frac{dL}{L} - \frac{dS}{S}$$

Notando que devido à contracção lateral

$$\frac{dS}{S} = -2\nu \frac{dL}{L}$$

na qual ν é o coeficiente de Poisson tem-se:

$$\frac{dR}{R} = \frac{dL}{L}(1 + 2\nu)$$

ou

$$\lambda = 1 + 2\nu \quad \ldots\ldots \quad (3)$$

Vê-se assim, que para os metais ($\nu = 0{,}3$) a sensibilidade deveria ser aproximadamente igual a 1,6. Porém tal não acontece, devendo dar-se simultâneamente uma alteração da estrutura molecular do fio sob tensão, que faz variar a resistividade ρ. Nesta hipótese, diferenciando a expressão

(2) e dividindo ambos os membros por R tem-se:

$$\frac{dR}{R} = \frac{d\rho}{\rho} + \frac{dL}{L}(1 + 2\nu)$$

Introduzindo na expressão anterior o coeficiente $C = \frac{d\rho/\rho}{dV/V}$ no qual V é o volume do fio sensível e notando que

$$\frac{dV}{V} = \frac{dL}{L} + \frac{ds}{s} = \frac{dL}{L}(1 - 2\nu)$$

tem-se depois de substituir valores e simplificar

$$\lambda = 2 + (C - 1)\ (1 - 2\nu) \quad . \ . \ . \quad (4)$$

Segundo Bridgman o valor do coeficiente C nos metais é igual a 1,13 o que dá para λ um valor 2,05.

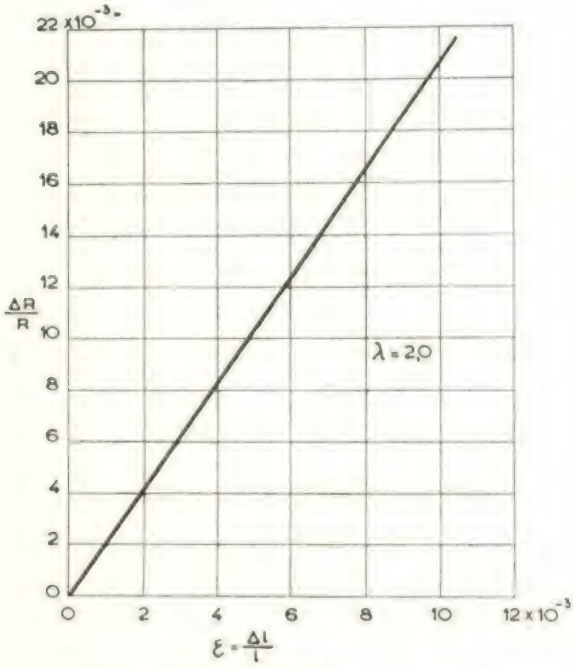


Fig. 5

São de uso mais corrente na construção de extensómetros para medições estáticas ligas com os seguintes nomes comerciais: *Coupron* (45 % Ni 55 % Cu) sensibilidade 2,0 (fig. 5); *Nicrome* (80 % Ni 20 % Cr) sensibilidade 2,7 (fig. 6); *Manganini* (4 % Ni 12 % Mn 84 % Cu), etc. Como nas medições dinâmicas a influência da temperatura tem pequena importância, podem usar-se fios de maior sensibilidade não importando que estes possuam um maior coeficiente de variação de resistência térmica. É exemplo destas ligas a *Iso-elástica* (35 % Ni 8 % Cr 0,5 % Mo) de sensibilidade igual a 3,5.

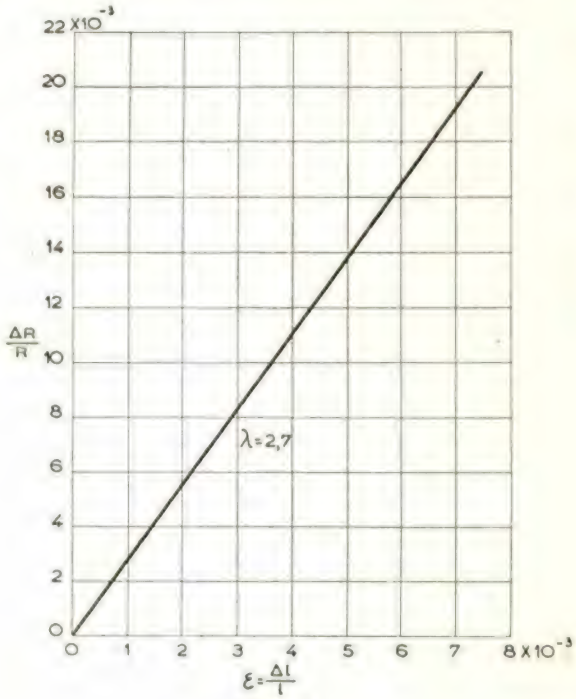


Fig. 6

b) *Base* — É o comprimento L (fig. 1) medido segundo o eixo do extensómetro entre as extremidades da grade sensível e em relação ao qual são medidas as extensões

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L}$$

Fabricam-se os extensómetros correntes com bases variando entre um comprimento de pouco mais de um milímetro ex.º A-19 (SR-4) até extensómetros com base de uma dezena de centímetros ex.º A-9 (SR-4).

c) *Largura* — Além da base é importante conhecer a largura a (fig. 1) da grade sensível, que de algum modo dá a noção da sensibilidade dum extensómetro às deformações laterais. Com efeito, quando um extensómetro está montado numa superfície plana submetida a um estado de tensão a

duas dimensões, a porção de fio sensível dirigida segundo a normal ao eixo do extensómetro é influenciada também pelas extensões nesta direcção, que fazem variar a sua resistência do mesmo modo que as extensões na direcção do seu eixo (fig. 7).

Os extensómotros são aferidos em lâminas de aço com (coeficiente de Poisson $\nu = 0{,}285$) submetidos a flexão pura.

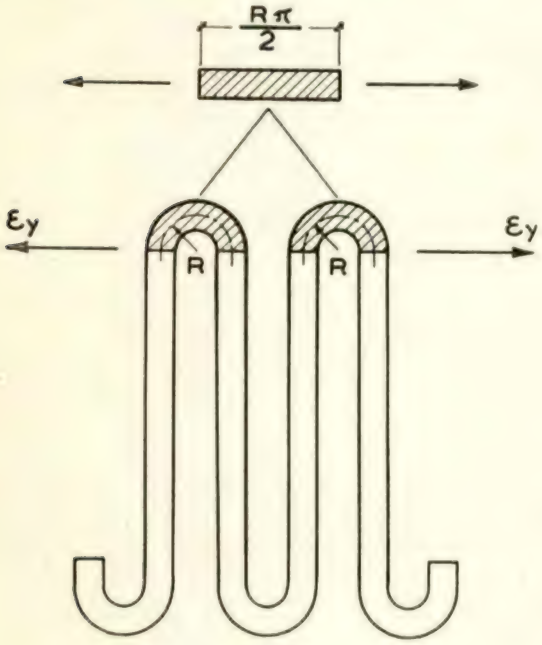


Fig. 7

O valor da sensibilidade indicado pelo construtor é portanto a *sensibilidade aparente* λ' e as extensões medidas com esta sensibilidade as extensões aparentes ε', sendo

$$\frac{\Delta R}{R} = \varepsilon' \lambda' \quad . \; . \; . \; . \; . \quad (5)$$

Pode definir-se uma sensibilidade transversal ε_t de forma análoga à *sensibilidade longitudinal* sendo portanto a variação de resistência

$$\frac{\Delta R}{R} = \lambda \varepsilon_l + \lambda_t \varepsilon_t = \lambda (\varepsilon_l + k \varepsilon_t) \quad . \; . \; . \; . \quad (6)$$

Sendo

ε_l — a extensão real segundo o eixo longitudinal

ε_t — a extensão real segundo uma normal ao eixo

$k = \frac{\lambda_t}{\lambda}$ (auxiliary factor)

Quando

$\varepsilon_t = -0{,}285\ \varepsilon_l$ (condições de aferição)

$\varepsilon' = \varepsilon_l$ e igualando (5) e (6) tira-se:

$$\lambda' = \lambda\ (1 - 0{,}285\ k) \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (7)$$

Analisando o estado de tensão num ponto com dois extensómetros cruzados em ângulo recto as extensões reais ε_x e ε_y segundo os dois eixos são fàcilmente calculáveis a partir das extensões aparentes ε'_x e ε'_y medidas segundo aquelas duas direcções.

Com efeito com (5) e (6) estabelece-se o sistema:

$$\varepsilon'_x \lambda' = \lambda\ (\varepsilon_x + k\ \varepsilon_y)$$
$$\varepsilon'_y \lambda' = \lambda\ (\varepsilon_y + k\ \varepsilon_x)$$

Resolvendo o sistema tendo presente a relação (7) obtém-se:

$$\varepsilon_x = \frac{1 - 0{,}285\ k}{1 - 0{,}285^2}\ (\varepsilon'_x - k\ \varepsilon_y)$$
$$\varepsilon_y = \frac{1 - 0{,}285\ k}{1 - 0{,}285^2}\ (\varepsilon'_y - k\ \varepsilon_x) \quad . \; . \; . \; . \quad (8)$$

O valor de k para os extensómetros correntes não vai além de 4 %, sendo tanto menor quanto mais comprida for a base do extensómetro e menor o número de espiras. Nalguns tipos de extensómetros de filamento resistente (ex.º Tepic-Huggenberg), tomam-se precauções especiais para atenuar a influência das deformações laterais, fig. 8, fazendo a união transversal dos filamentos longitudinais sensíveis por meio dum condutor de maior secção.

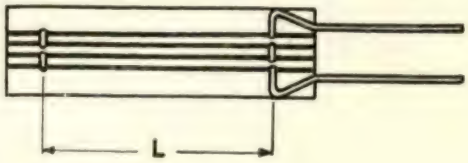


Fig. 8

d) *Resistência* — Outra característica importante dos extensómetros de filamento é a sua resistência. É indicada pelo construtor em cada lote de extensómetros e condiciona o tipo de aparelhagem de medida.

Os extensómetros correntes têm resistências que variam entre 100 a 500 Ohms.

Antes de utilizar um extensómetro convém verificar se a sua resistência está de acordo com a indicada pelo fabricante. Depois de montado, convém voltar a fazer esta verificação, bem como a da medida da resistência de isolamento da grade sensível à superfície a que está colado. Estas medições devem ser feitas com um omímetro electrónico ou qualquer outro que utilize baixas tensões. Se a resistência do extensómetro é diferente da indicada pelo fabricante, o extensómetro não deve usar-se, a menos que, sendo pequena a diferença, se tomem dispositivos especiais de montagem e se entre depois com a nova resistência na avaliação das extensões. A resistência de isolamento da grade à terra deve ser superior a 50 MO, sendo considerada óptima uma resistência de isolamento superior a 200 MO. Sendo inferior a 10 MO, a montagem não está perfeita devendo substituir-se o extensómetro, ou melhor a montagem conforme os casos.

6. Classificação

Fabricam-se numerosos tipos de extensómetros alguns deles adaptados a estudos particulares. Em princípio, podem classificar-se quanto à forma e disposição da grade sensível nos seguintes tipos:

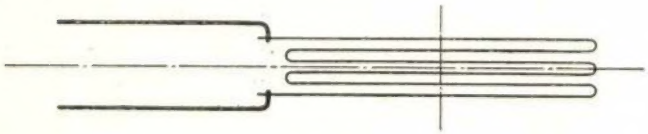


Fig. 9

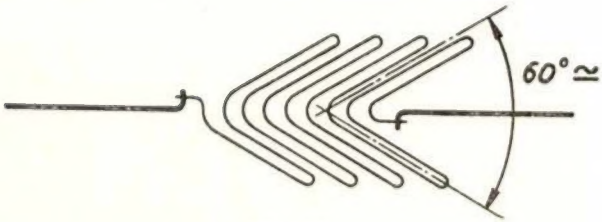


Fig. 10

a) *Extensómetros simples* — Fig. 9 — Possuem apenas uma grade que se desenvolve no sentido do eixo do extensómetro.

b) *Extensómetro em V* — Fig. 10 — Possuem uma grade que se desenvolve em duas direcções igualmente inclinadas sobre o eixo do extensómetro e fazendo entre si um ângulo de 60°.

Devido à sua configuração permitem determinar directamente o valor das tensões em materiais de coeficiente de Poisson igual a 0,285 pelo que são conhecidas também pelo nome de *tensómetros*.

Com efeito, a partir das relações estabelecidas na elasticidade deduz-se:

$$\sigma_\alpha = \frac{E}{1-\nu} \; \frac{(\varepsilon_{\alpha+\beta/2} + \varepsilon_{\alpha-\beta/2})}{2}$$

sendo

$$\cos \beta = \frac{1-\nu}{1+\nu}$$

Como para os metais e $\nu \cong 0{,}3$ tem-se

$$\beta \cong 60°$$

c) *Rosetas cruzadas* — Fig. 11 — Possuem duas grades independentes e isoladas que se cruzam em ângulo recto permitindo cal-

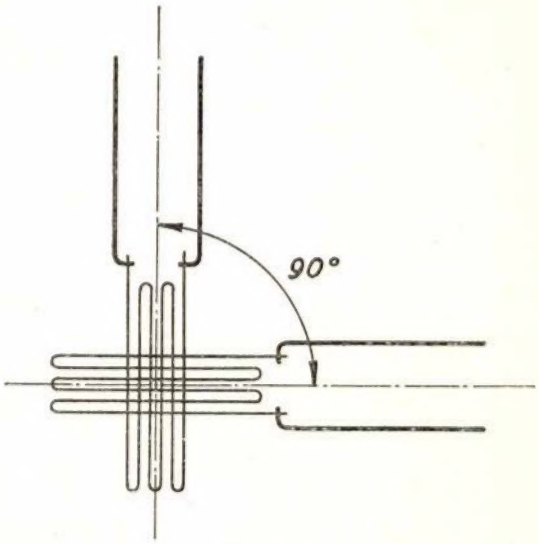


Fig. 11

cular os estados de tensão naquelas duas direcções.

Com efeito, se forem ε_x e ε_y as extensões medidas segundo duas direcções normais entre si que se cruzam no ponto conside-

rado, as relações da elasticidade permitem escrever

$$\sigma_x = \frac{E}{1-\nu^2}\left[\varepsilon_x + \nu\,\varepsilon_y\right]$$
$$\sigma_y = \frac{E}{1-\nu^2}\left[\varepsilon_y + \nu\,\varepsilon_x\right] \qquad (9)$$

d) *Rosetas em estrela* — Fig. 12 — Possuem três grades independentes e isoladas fazendo entre si ângulos de 45° o que permitem analisar como adiante se verá o estado de extensão no ponto onde estão montadas.

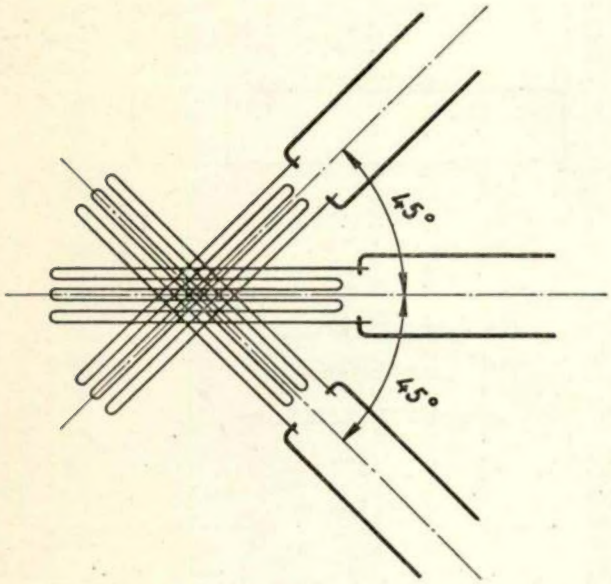


Fig. 12

Com efeito se forem ε_1, ε_2 e ε_3 as extensões medidas segundo 3 direcções que se cruzam no ponto considerado e fazem entre si ângulos de 45°, as relações da elasticidade permitem escrever

$$\left.\begin{matrix}\varepsilon_I \\ \varepsilon_{II}\end{matrix}\right\} = \frac{1}{2}(\varepsilon_1 + \varepsilon_3) \pm$$
$$\pm\sqrt{\frac{1}{2}(\varepsilon_3 - \varepsilon_1)^2 + (2\,\varepsilon_2 - \varepsilon_1 - \varepsilon_3)^2}$$
$$\operatorname{tg} 2\alpha = \frac{2\,\varepsilon_2 - \varepsilon_1 - \varepsilon_3}{\varepsilon_3 - \varepsilon_1} \qquad (10)$$

Sendo ε_I e ε_{II} as extensões principais e α o ângulo que ε_I faz com a direção 1. A orientação das tensões principais no ponto considerado coincide com a das extensões principais podendo calcular-se o seu valor a partir de (9).

Algumas vezes existe ainda uma 4.ª grade a 90° sobre a grade 2 para permitir efectuar uma confirmação das leituras efectuadas.

Deverá então ter-se:

$$\frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_3}{2} = \frac{\varepsilon_2 + \varepsilon_4}{2}$$

e) *Rosetas em triângulo ou em delta* — Fig 13 — Possuem 3 grades independentes e isoladas fazendo entre si ângulo de 60° e que à semelhança da anterior permitem analisar o estado de extensão no ponto onde são coladas. Nalgumas rosetas deste tipo existe uma 4.ª grade perpendicular a qualquer das outras para se poder efectuar uma confirmação das leituras.

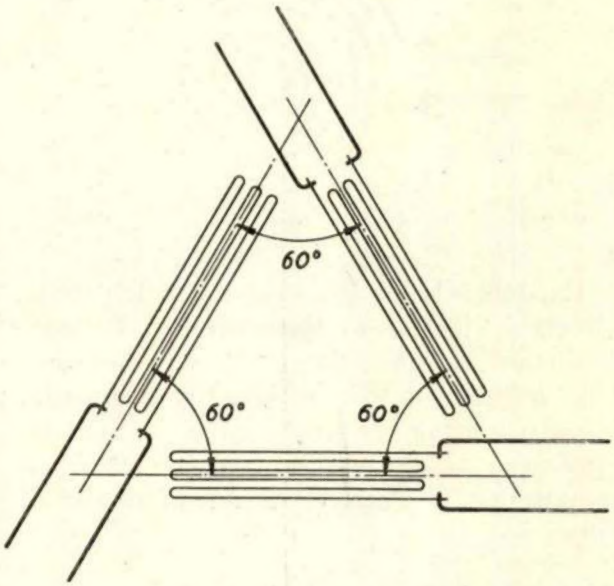


Fig. 13

Com efeito se forem ε_1, ε_2 e ε_3 as extensões medidas tem-se as seguintes relações deduzidas na elasticidade

$$\left.\begin{matrix}\varepsilon_I \\ \varepsilon_{II}\end{matrix}\right\} = \frac{1}{3}(\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3) \pm$$
$$\pm\frac{1}{3}\sqrt{3(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)^2 + (2\,\varepsilon_1 - \varepsilon_2 - \varepsilon_3)^2}$$
$$\operatorname{tg} 2\alpha = \frac{(\varepsilon_3 - \varepsilon_2)\sqrt{3}}{2\,\varepsilon_1 - \varepsilon_2 - \varepsilon_3} \qquad (11)$$

Estando montada uma 4.ª grade a 90° sobre a n.º 1 deverá então ter-se:

$$\frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3}{3} = \frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_4}{2}$$

Quanto à natureza do filamento resistente sensível podem ainda distinguir-se dois tipos de extensómetros; os destinados a ensaios estáticos, fabricados com ligas de baixo coeficiente de variação de resistência com a temperatura ex.º: coupron, nicrome, etc., e os destinados a ensaios dinâmicos, que possuem grande sensibilidade, não importando um coeficiente de variação de resistência com a temperatura elevado (A 5 a) ex.º: Iso-elástica.

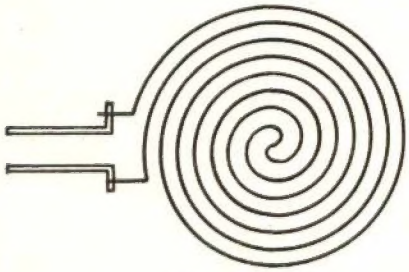


Fig. 14

Existem alguns tipos especiais de extensómetros eléctricos, destinados a efectuar medições especiais. Na fig. 14 está representada a grade dum extensómetro destinado a medir o estado de tensão numa membrana e na fig. 15 a grade dum extensómetro que permite medir o esforço de torsão num veio cilíndrico.

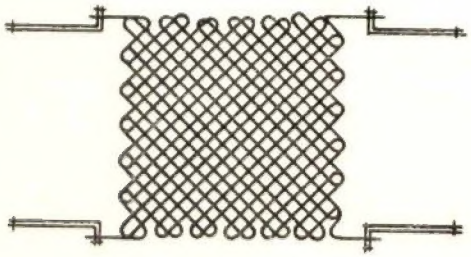


Fig. 15

7. Montagens

Apresentam-se a seguir alguns tipos de montagens com extensómetros eléctricos em que as ligações eléctricas se podem simplificar. Nos esquemas apresentados, as letras A e C significam respectivamente extensómetro activo e extensómetro compensador. Os númers 1, 2 e 3 referem-se aos nós da ponte Wheatstone indicada na fig. 2.

a) *Tracção ou compressão.* — No ensaio de peças prismáticas à tracção ou compressão o esquema das ligações deve efectuar-se como indica a fig. 16 que tem a vantagem de corrigir as extensões devidas a excentricidade da carga.

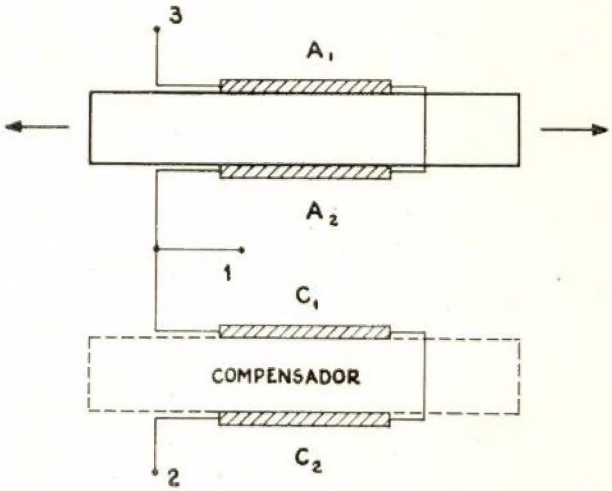


Fig. 16

b) *Flexão.* — O extensómetro activo e o compensador podem ser montados nas duas faces mais solicitadas do provete como mostra a fig. 17 o que tem a vantagem de corrigir as extensões devidas a qualquer esforço axial.

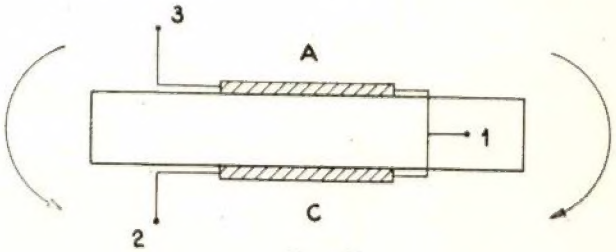


Fig. 17

c) *Torsão.* — A medição dos esforços de torsão em peças cilíndricas pode efectuar-se como indica a fig. 18 que tem a vantagem de corrigir as leituras das extensões devidas à flexão.

Este esquema de montagem tem aplicação nos aparelhos de medição do binário desenvolvido por um motor, sendo os extensómetros montados a 45° com as geratrizes do eixo. As ligações ao exterior podem fazer-se por anéis e escovas.

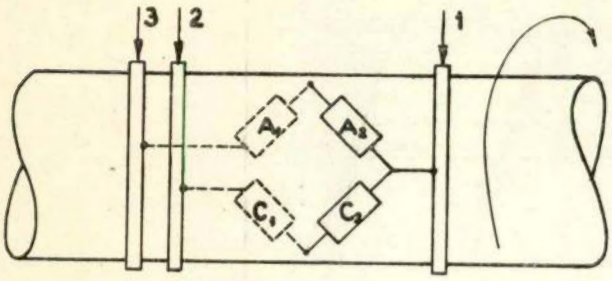


Fig. 18

d) *Corte.* — A tensão de corte pode medir-se montando dois extensómetros a 45° com a direcção ao longo da qual se pretende medir a tensão de corte como se indica na fig. 19.

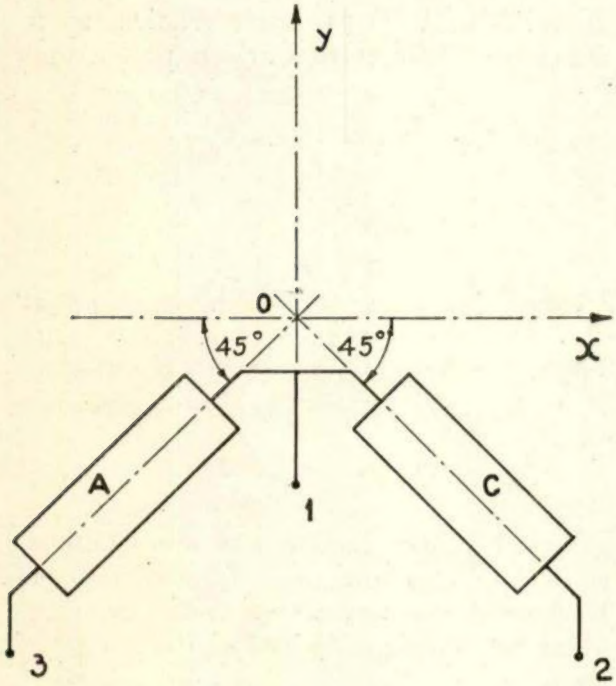


Fig. 19

Atendendo às relações entre tensões e deformações tem-se:

$$\tau = \tau_{xy} = \tau_{yx} = G\gamma$$

$$\gamma = (\varepsilon_C - \varepsilon_A) \qquad G = \frac{E}{2(1+\nu)}$$

Tem-se portanto:

$$\tau = \frac{E}{2(1+\nu)}(\varepsilon_C - \varepsilon_A)$$

Quando se atinge o equilíbrio da ponte os valores lidos na resistência variável serão portanto proporcionais ao corte segundo xy ou yx.

8. Extensómetros Carlson

Além dos extensómetros eléctricos de resistência descritos, existem outros, de maiores dimensões, em que a grade não está embebida entre duas folhas de papel ou numa película de plástico, possuindo uma robustez que os permite inserir no interior dos maciços de betão, durante a moldagem, dando indicações posteriores quanto ao estado de extensão no local onde estão embebidos. É exemplo dum extensómetro deste tipo, baseado no princípio da variação de resistência de filamento, o extensómetro Carlson que a seguir se descreve.

Em 1930 foi construída uma pequena barragem arco com 18 metros de altura no local de Steeveson Creek — Califórnia — destinada a servir de objecto de ensaios estáticos e verificar através deles, o grau de aproximação de alguns métodos de cálculo usados na análise daquele tipo de estrutura. Nestes ensaios, foi utilizada aparelhagem especialmente estudada para aquele fim, designadamente um extensómetro eléctrico de resistência em que o órgão sensível era constituído por uma pilha de carvões (fig. 20) [1].

O Eng.° M. Carlson fazia parte da equipe que efectuou aqueles ensaios, tendo colhido neles ensinamentos que o levaram a conceber um outro tipo de extensómetro eléctrico de resistência, mais aperfeiçoado que o da pilha de carvões e em que o elemento sensível era constituído por um filamento metálico. O emprego destes extensómetros generalizou-se na observação das estruturas de betão tendo sido incorporadas algu-

(1) Estes extensómetros baseiam-se no fenómeno da variação da resistência com a tensão de empilhamento dos discos de carvão.